RADIATION EDUCATION

放射線教育

2007

VOL. 11 NO. 1

放射線教育フォーラム

Radiation Education Forum

放 射 線 教 育
Radiation Education
Vol. 11　No. 1

目　次

【巻頭言】
1__客観的な物差しを持とう　*河村正一*

3__原子衝突と放射線作用
—日常生活にかかわりの深い放射線利用の理解のために—　*大野新一*

13__放射線測定実験要領書の検討
—高校生を対象として—　*宮坂駿一、播磨良子、石塚龍雄、植木紘太*
松本誠弘、中井　優、山野直樹、菊池文誠、畠山正恒

25__光照射による水和電子の生成
—原子力研究のさなかに発見されたもっとも基本的な化学種—　*大野新一*

33__放射能泉地域のラドン濃度と利用客の被曝線量　*堀内公子*
滝沢英夫、鈴木絢香、甘露寺泰雄

41__新設なった青森支部、2007年活動と反省の記録　*笹川澄子*

53__大学生の放射線に関する知識について
—講義に対するアンケートから—　*松浦辰男*

61__高レベル放射性廃棄物保管・監視に国家直轄地を設定すべし　*荒谷美智*

67__放射線利用の共通基礎の理解を向上させるための考察　*田中隆一*

73__新潟県中越沖地震と柏崎刈羽原子力発電所　*村主　進*

79__［書評］神の火を制御せよ　*今村　昌*
81__「放射線教育」投稿規定、原稿の書き方
86__編集後記

発行：2008年3月30日，　NPO法人　放射線教育フォーラム
〒105-0003　東京都港区西新橋 3-23-6　白川ビル 5F
Tel: 03-3433-0308　FAX: 03-3433-4308
E-mail mt01-ref@kt.rim.or.jp,　*HP*: http://www.ref.or.jp

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 11, No. 1, p. 1－2 (2007)

【巻頭言】

客観的な物差しを持とう

河村　正
NPO 法人放射線教育フォーラム副会長

客観的に物事を判断したり考えたりすることはなかなか難しい。日常、不都合なことがあってはならないとつとめていても、理屈のとおらない滑稽なことがある。一例をあげると他人の欠点は目につき文句を言いやすいが、自分の欠点はあまり気にはならない。

年末ジャンボ宝くじの当選率はわずか１千万分の１（１０$^{-7}$程度）といわれているのに期待するからこそ、人々は競って買い求める。宝くじの販売所によっては、「１等、２億円発生の店」等の掲示を出したりすると、余計射幸心を煽るようである。

他方、自動車による事故死（年間１０$^{-4}$程度）は、木下冨雄氏によれば、１年に１万人程度なので、客観的にはかなり危険な実態といえる。しかし自動車は非常に有用で、一度に起こる事故はおおかた数人程度と少ないので、人が亡くなっても「運が悪い」などの主観的なバイアスが働き、止むを得ないということで社会に受け入れられているという。

このように自動車による死亡率は、宝くじの当選率よりはるかに高いのに、人は勝手な物差しで宝くじを買い込む。また木下氏によれば、人間はもともと感情的な動物でかつ非合理な存在であるという。このような傾向からも人間は、知らず識らずのうちに、都合の良い幾つかの「物差し」を使い分けているのではなかろうか。

「物差し」の使い分けは、悪いばかりではなくけっこう人生を豊かに過ごしやすいものにしてくれる。自分の伴侶や息子、娘をこの世で最良と思い、そこそこの幸福感をもったり、人生、３万日ほどの寿命を一呼吸ごとに消化して、墓場に近づいているはずなのに明日に希望をもった生活ができているのもそれである。このような「物差し」を客観的なものにするには、キチンと数字をあげての科学的な説明を加えると、受け取る側は、随分異なる認識となる。

原子力、放射線に係る現象に対する一般的な対応でも、主観的バイアスがかかった状態ではなく、客観的な状態で判断できれば、「風評被害」等のような問題も少ないのではないかとも思う。放射線教育にたずさわる者としては、人々に正しい「物差し」をもって現象に対応してもらうようにつとめなければならないと思う。

（放射線医学総合研究所名誉研究員）

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 11, No. 1, p. 3 - 12 (2007)

原子衝突と放射線作用—日常生活にかかわりの深い放射線利用の理解のために—

大野新一
理論放射線研究所
〒227-0054横浜市青葉区しらとり台12-5
E-mail:ohno-trl@01.246.ne.jp
(2008年2月16日　受理)

[要旨] 物質（生物も含む）に対する放射線作用は、運動エネルギーをもつ微細な粒子（=放射線）によって物質中の電子がはじき飛ばされることから始まる。粒子間の力学的な衝突が基本である。ここから具体的な描像を得て、放射線の産業利用(架橋・グラフト)、がん治療、品種改良、医療器具の滅菌、食品保存などを統一的に理解できることを示す。
キーワード：放射線教育，照射効果、放射線影響、原子衝突、放射線利用

１．はじめに

放射線利用は、放射線のもつ運動エネルギーが原子衝突をへて物質に移ることによって物質中に変化が生じることを利用する。ここを出発点として放射線利用の理解をすすめる道を探るのが本稿の目的である。放射線利用の理解には、放射線の発生方法、放射線の種類による物質透過力のちがい、照射による化学反応の誘起、線量概念についての理解が必要である。しかしながら現状の放射線教育に関わるセミナー講師の多くは、こうしたいくつもの内容の説明を積み重ねることを避けて、その代わりにいくつもの利用項目を掲げ、それらを説明し、分類してみせる。霧箱による飛跡観察、「はかるくん」による測定を組み込むことも多い。こうした断片的な知識や情報は、学校教育、とくに高校・大学一般課程では望ましいものではないであろう。それよりも放射線利用の考え方の基本を伝えることが肝要である。科学的な思考に基づく納得のゆく説明を模索したいものである。

ここでは、まず（１）物質が粒子の集合状態であり、他方、粒子の運動状態が放射線であることに注目し、原子衝突とはこれらの粒子間に働く力（クーロン力）によって運動エネルギーをもつ一方の粒子（=放射線）から他方の粒子（=物質中の粒子、とりわけ電子）にエネルギーの一部が移行することをまず説明する。つづいて（２）入射粒子（放射線）の種類とエネルギーによって原子衝突を起こす頻度が変化し、また物質中を走る入射粒子の距離（飛程）が決ることを考察する。つぎに（３）エネルギーを受け取った物質の側の粒子の挙動、とくに化学反応について考察し、（４）物質中の化学変化の程度（変化量の多少）に関係する量として物質が放射線から受けるエネルギー量（＝線量）について、そして線量と照射効果を決める分子の大きさ（1 分子に含まれる電子数の多少）について考察する。最後に、これまでを整理する形で、（５）代表的な放射線利用の項目について、用いられる放射線の種類とエネルギーがどのような観点から選ばれるのか、照射する量（必要な線量）はどのようにして決められるのかを考える。

2．原子衝突の概略

物質（原子や分子）はさまざまな種類の原子核とその周りに束縛されている電子からできているが、その原子や分子が集合している状態が物質である。他方、何らかの原因によって微細な粒子（電子、原子核、あるいは原子核を構成する粒子）が原子や分子の束縛状態から抜け出して運動状態になっているときがあり、この状態が放射線とよばれるものである。このうち電荷をもつ粒子の場合では、その運動状態が変化するときに発生する電磁波（粒子としてみるときは光子とよばれる）も物質内の電子に作用を及ぼし、エネルギーを与えるので放射線の仲間に入れられている。一般的に言って、これらの粒子の間にはいく種類かの力が働く。原子核をつくることに関係する「強い力」は中性子や陽子などが互いに接触する(10^{-14}m 以内)くらいに近接するときに働く。「重力」は粒子の質量が小さいときは他の力に比して無視される。放射線利用を考えるときは、もっぱら「クーロン力」が関係する。同符号の電荷どうしで反発力が、異符号の電荷どうしで引力が、いずれも距離の２乗に反比例して作用する。そのクーロン力が作用する時間もまた重要である。力と時間の積に応じて運動量が、したがって運動エネルギーが運動する粒子（放射線）から物質をつくる粒子に移動することから放射線作用が始まるのである。

以下では、おおざっぱに日常生活にかかわりのある放射線利用を理解したいときに必要な原子衝突に関連した事項をまず列挙する。そのため、数MeV を超えない程度のエネルギー範囲の事項のみとなることを了解して欲しい。

(A) 高エネルギーの電磁波（X 線、ガンマ線など）も粒子としての性質をもつ。エネルギーが E (＝hν) である光子の質量0、大きさ0、電荷0、速度は真空中で **c** (=3×10^{8} m/s、物質中では少し小さい)、運動量 E/**c** である。原子や分子の内部を走るときも、光子は電荷をもたないため、距離を隔てて存在する電子には力を及ぼすことはないが、微細な電子（電子の古典半径として2.8×10^{-15} m が使われる）に直撃する（非常に近接して走る）ときに電子をはじき飛ばし(コンプトン散乱)、高エネルギーの電子が発生する。発生した電子はつぎに説明する（B）のような挙動をする。

$$電子の断面積\sigma_e = \pi(2.8\times10^{-15}\ \mathrm{m})^2 = 2.46\times10^{-29}\ \mathrm{m}^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

(B) 放射線のエネルギー損失：物質に入射する高エネルギーの荷電粒子（電子、陽子、原子核など）の運動エネルギーは、物質中で電子励起やイオン化(その内容については３で説明する)を繰り返しながら次第に減少し、ついには速度を失い、放射線は消失する。ごく荒っぽい見積もりをするためには、放射線はイオン化を１回起こす度に30 eVの運動エネルギーを失うと考えることができる（詳しくは表1の説明を参照のこと）。

$$放射線のエネルギー損失\sim 30\ \mathrm{eV}/物質中のイオン化１回 \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\ (2)$$

(C) 衝突断面積と衝突する確率：物質中の粒子にぶつかる（衝突する）までは、放射線は何者にも邪魔されることなく真っ直ぐに真空中を走る。ところが標的とする粒子（たとえば電子）の近傍を放射線が走るときに力（クーロン力）が働いて衝突の可能性がでてくる。力の大きさと力の作用する時間によってどのような衝突が可能であるか、そして標的の電子がそのエネルギーを受け取ったかどうかによって衝突の実現が決定される。

ある種類の衝突が起こるに必要な、放射線と標的の間の距離を p とすれば(図1を参照)、標的を

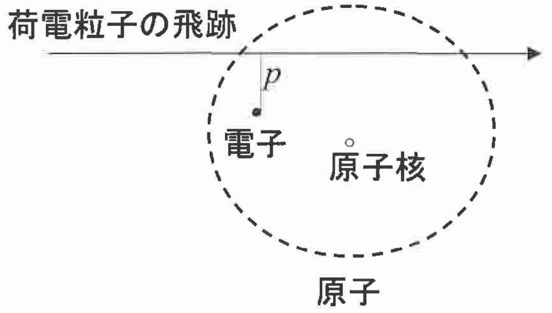
中心に $\sigma = \pi p^2$ の範囲内に放射線が侵入すればその衝突が起こり得る。σ を衝突断面積とよぶ。物質中に存在する標的の密度を N とすれば放射線が短い距離 δx を走るときにこの衝突の確率は σN δx となる(衝突しない確率は1－σN δx):

放射線が δx 走る間の衝突確率
= (衝突断面積σ)(標的密度N)(放射線が走る微小距離δx) ・・・・・(3)

厚い試料では、試料表面から入射して深さ x までの間衝突しない確率をF(x)、深さx + δx においても衝突しない確率を F(x + δx) とすれば、F(x + δx) は 確率 F(x) と続いて走る微小距離 δx の間衝突しない確率 1－σN δx の積である。すなわち F(x + δx) = F(x)・(1－σN δx)、この式を解いて F(x) を求める:

1 本の放射線が距離 x まで衝突しない確率＝exp(－σNx) ・・・・・・・・・・・・・・(4)

この式は、衝突確率が x＝0 (入射する試料表面) で 0、充分に入射した(x が大きい)ところで 1 であり、さらに x だけ入射したときの衝突確率 1－exp(－σNx) を与える。
（D） 物質中の電子がイオン化するための σ を見積もることにしよう。電子のイオン化エネルギーは（B）でみたように 15 eV であるとする。電荷 Ze の粒子が速度 V で電



荷電粒子の飛跡から p の位置にある電子は短い時間だけクーロン力が働く。N. Bohr は、この短い時間として、荷電粒子が V の速度で $2p$ の距離を走る時間であるとした(1913)。

図 1. 原子の中を通過する荷電粒子と電子との相互作用

子の位置から p の距離を走りぬけるとき（図１）、クーロン力 Ze^2/p^2 が短い時間だけ作用する。これは粒子が遠方にいるときには力を無視できるが、標的の電子に近づくとごく短い時間だけ力が働き、その時間は粒子が $2p$ の距離を走る時間 $2p/V$ だけとする近似である。そこで電子が受ける運動量変化（＝力積）は $\delta M = 2Ze^2/pV$、したがって電子に

移行する運動エネルギー　$(\delta M)^2/2m_e$ は$(4Z^2e^4/p^2V^2)/2m_e$ となる。この値が 15 eV を超えるためには荷電粒子と電子との間の距離が p よりも小さい、言い方を変えれば標的の電子を中心とする半径 p の球の内部に入射粒子が侵入する、入射粒子からみると半径 p の円内に入ることである。このことをこの電子の衝突断面積（衝突により 15 eV 以上のエネルギーが与えられる断面積）は$\sigma = \pi p^2$ であるという。すると電子は束縛状態を脱してイオン化する。

電荷 Z, 速度 V の入射粒子が物質内の電子に 15 eV 以上のエネルギーをあたえる衝突断面積$\sigma = \pi p^2$

$$= \frac{2\pi \cdot e^4}{m_e 15}\left(\frac{Z}{V}\right)^2 \cdots\cdots \quad (5)$$

（E）放射線の種類による σ の違いも重要である。ちなみに Z=1, V=10^8 m/s の陽子（そのエネルギーは $1/2(1.67\times10^{-27}$ kg$)(10^8$ m/s$)^2=8\times10^{-12}$　J=50 MeV）の場合のσを計算で求めると $p=0.016\times10^{-10}$ m が得られ、原子・分子の大きさ（～10^{-10} m）に比していかに小さいかがわかる。電子線(β線)の場合は Z=－1 として得られる。また Z=2, V=10^8 m/s のα 粒子になるとσは陽子の場合の4倍に、Z=6, V=10^8 m/s の炭素イオンになるとσは36倍になることも理解できる。また放射線の速度の変化に伴ってσがどのように変化するかも(5)式から分かる。ついでに言えば、中性子ではZ=0なので物質中の電子に作用しないが、その代わり原子核に接触すると「強い力」がはたらく。σは原子核の大きさ $\pi p^2=3\times10^{-28}$m^2 程である。このときは(3)式の標的密度は原子核の密度であることは言うまでもない。

３．物質の安定性と化学反応

物質としての水は膨大な数の水分子の集合からできている。温度が与えられると水分子の運動エネルギーの平均値が定まるが、その一方でその分子運動と水分子相互の凝集力とのバランスによって、物質としての水は固体の氷、液体の水、水蒸気の3つの状態をとり得る。室温付近の水分子が走る平均速度は約600 m/sであるが、この程度の速さで分子同士が互いに衝突しあっても分子自体は壊れることはない。水分子は、2 個の陽子と1 個の酸素の原子核、それに10個の電子の集合であるが、これら13個の粒子は相互に働く静電力（クーロン力）のもとで定常的な運動状態にある。このうち電子の運動状態によって一定の大きさの折れ曲がった水分子（H-O-H）の構造が保たれる。HとOの2つの原子核の領域にまたがって電子が存在することが化学結合の状態である。この電子が急に消失したら2つの原子核同士はその静電反発力によって離れ離れになってしまう。そうでない限り、多数の電子が激しく振動・回転しているにもかかわらず電磁波を放出することもなく、真空中におかれた水分子は永久に安定である。また相互に衝突し合っても、室温に比べて一桁大きい衝突エネルギーでない限り、壊れることもなく、いつまでも安定である。

(原子・分子の安定性は量子力学で理解される)

　水分子がなぜ安定なのか、それは電子のように微細な粒子の運動が波動性をもつこと、すなわち量子力学によって理解される。水分子内のどれか1個の原子核の近傍に着目してみると、その原子核の正電荷（陽子の数）を打ち消すだけの数の電子が波の性質をもちながら、しかも正電荷

に引き寄せられつつ、運動する。その結果、電子の運動は原子核を中心とする３次元の定在波を形成する。定在波の形としては、単原子の場合では球形（ｓ軌道）、亜鈴形（ｐ軌道）、さらにはｄ軌道、ｆ軌道・・・などが知られている（図２）。定在波としての広がりは原子核の大きさ（直径）のおよそ１万倍、体積にすれば１兆倍であるが、電子そのものの大きさは極めて微細なものである。電子は、エネルギーのやり取りのないときは波として行動するが、他の粒子（典型的には放射線）からエネルギーを受け取るときには粒子として挙動する。エネルギーを受け取らない限り、定在波としていつまでもその形は安定である。しかしこの電子のごく近傍を高速の荷電粒子が走り抜けるときに、この電子は瞬間的にクーロン力をうける。このクーロン力とその力が作用した短い時間の積（力積とよばれる）が重要で、この値の大きさ如何によって電子は運動量変化を起こし、運動エネルギーを獲得し、運動状態が変化する。その結果、別の定在波に飛び移るか（励起されたという）、もっと大きな運動エネルギーを得た場合には、原子核の引力圏から抜け出して（束縛状態を脱して）遠くに飛び去ってしまう（イオン化されたという）。

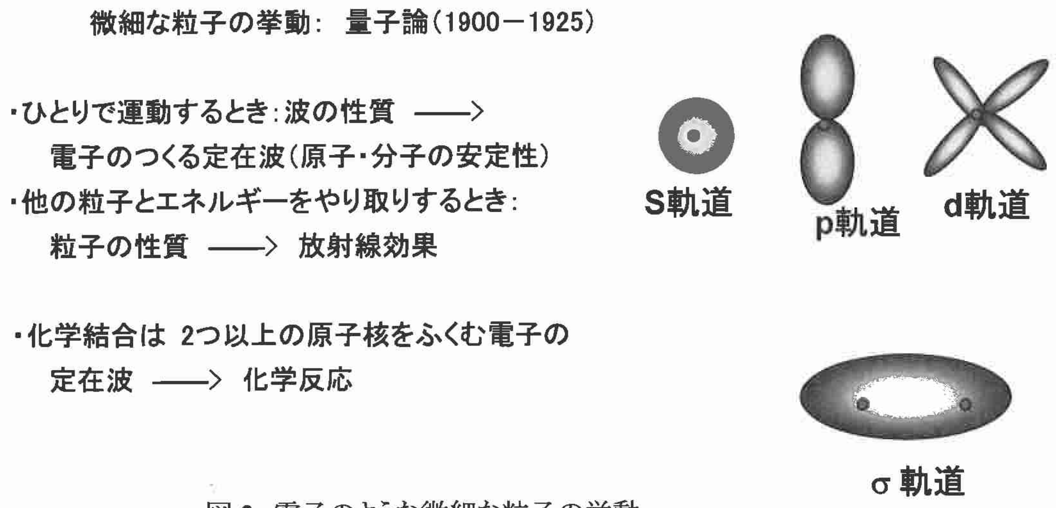


図２　電子のような微細な粒子の挙動

量子力学によって理解され、原子核の正電荷によって束縛されると定在波となって形が安定化する。他の粒子との相互作用(衝突)によってエネルギーをやり取りするときは粒子として行動し、さもなければ定在波としていつまでも安定である。

とによって２つ以上の原子核は相互の距離をほぼ一定に保ち、いわゆる化学結合が形成される。この化学結合に関係した電子が放射線によって遠くへ飛ばされると、残された原子核同士は互いの正電荷に基づく反発力によって自然に離れ離れになって化学結合が切断されることにつながる。その前にイオン化された電子が舞い戻ってくればまた元通りの化学結合は保たれる。それぞれの分子軌道(定在波)とそこからの電子の移動、それに続く分子の化学結合の変化、さらに分解生成物（フラグメント）の拡散、共存する他の物質との化学反応などを研究する分野は放射線化学と

よばれている。

表1. 水分子（H_2O）における各分子軌道（定在波）とそこからの電子のイオン化エネルギー(eV)の測定値

励起されていない水分子では、電子は各軌道に2個ずつ、合計で10個存在する

H_2O 分子の定在波(分子軌道)の記号（とその説明）	電子分光から求められたイオン化エネルギー(eV)
$1a_1$（酸素原子の内殻 O1s）	540
$2a_1$（主として結合性 O2s）	32.2
$1b_2$ (主として O-H 結合性 $O2p_y$)	18.5
$3a_1$（主として H-H 結合性 $O2p_z$）	14.7
$1b_1$（非結合性 $O2p_x$）	12.6

各軌道に存在する電子を放射線によってイオン化するには、たとえば$1a_1$軌道電子に対しては 540 eV 以上を、また $1b_1$ 軌道電子に対しては 12.6 eV 以上を与えなければならない。当然、図1で示した p の値は前者の場合で小さく、そして σ も小さい。つまり上の表の各欄で電子数は同じでも上欄ほどイオン化の起こり得る確率は小さい。これを考慮して平均すると、水のイオン化エネルギーとして19 eVとなる。さらには電子励起(イオン化に至らないが、電子の存在していない途中のレベルにある軌道にまで電子が飛び移ること)や熱に使われる分もあり、イオン化が 1 回起こるたびに放射線は30 eV を消費するという規準２（B）が得られる。水分子程度の簡単な他の多くの分子でも同程度の値が予想され、また実験的にも確認されている。この30 eV という値はW値とよばれている。また放射線化学の言葉（100 eV 吸収あたりに生成する個数であるG値）で表現すれば、G＝3.3 を用いることでもある。

４. 線量と分子の大きさ

（線量について）

物質に対する放射線照射効果を考察するための準備が整った。ある与えられた試料内に生じる変化は放射線から受け取ったエネルギー量に比例するものと考えられる。試料全体を考察の対象とする場合もあるし、試料の中の特定の部分を対象とする場合もあろうが、いずれにせよ、対象物の質量[kg単位]を定め、その部分が放射線から吸収したエネルギー[J単位]が与えられるとき、線量[J/kg]が定義され、この単位を[Gy]（グレイ）とする。放射線利用を学ぶときには、このGy単位に慣れる必要がある。

いま1リットルの水を考察の対象とし、放射線で１Jのエネルギーが吸収されたとしよう（1 リットルは1 kg、すなわち１Gyの吸収である）。ここに含まれる水分子の数はおよそ10^{25} 個である。1 Jのエネルギーは1 W の豆電球に1 秒間通電して得られるエネルギーである。日常の経験からは極めてかすかなエネルギーでしかなく、温度上昇を測定することもできない。ここでエネルギーの換算関係：$1\ eV = 1.6\times10^{-19}$ J を使う。規準２(B）によれば、この水に$1/(30\times1.6\times10^{-19}) = 2\times10^{17}$ 個のイオン化が起こったと考えられる。10^{17} 個は膨大な数ではあるが水分子の数 10^{25} 個に対し

てはおよそ1 億分の1 である。イオン化した水分子がすべて壊れるとしても、1 億分の1 の分子崩壊が 1 Gy の放射線効果である。

放射線作用を理解するためには、つぎのことを疑問の余地なく納得しなければならない。1 億個のうちの1 個の水が壊れてHとかOHとか酸素に変化しても、対象とした水の温度、比熱、粘度、沸点、溶解度、どれをとっても変化が測定されるとは考えられない。それに対して、生物は 1 Gy の照射によって明らかに変化が観測されるのである。多くの高等生物ではこの10倍の線量で死に至る。つぎに大きな分子と小さな分子の受け取る線量を考えてみよう。

（分子の大きさと放射線効果の有無について）

２の説明から分かるように物質に対する放射線のエネルギー付与は物質中の電子に対するエネルギー付与から始まる。そこで物質中の電子分布に対応してエネルギーが移動すると考えられる。電子数10個をもつ水分子の1000万個の集団と1 分子で1 億個の電子をもつDNAとを比較する。両者が同じ放射線の場に置かれたときには同じエネルギー吸収があると考えられよう。いま両系で 30 eV×100 のエネルギー吸収が起こったとしよう。水は1000万個のうちの100個が壊れるが、壊れて消失する分子の割合は10万分の1 に過ぎず、さしたる変化は起こらない。ところがDNA分子では1 分子のなかで100箇所の化学結合の切断が起こり決して無視できないであろう。遺伝子の突然変異とか増殖不能とかが起こり得る。

ある大きさの試料(1kg)でどれだけの数の“電子はじき出し”が起きたか

30 eV ×（はじき出し電子数）
線量（Gy）概念と関連付ける

高分子と低分子の違い:
同じ強度の放射線の場では 吸収エネルギーは電子数に比例する

1 個のDNA分子（電子数 10^8） **10^7個のH_2O分子（電子数10×10^7個）**	**同じ数の電子のはじき出し** **＝同じ吸収線量**

ここで 100 個の化学結合が切れたとするとき:
1 個のDNA分子では 大きな影響(100箇所切断）が残るが、
10^7個の水における効果は皆無と言える（10万分の１の水分子の崩壊）

５． 放射線利用の具体例

（放射線利用分野）

放射線利用については、１．はじめにで触れたように放射線の発生（主として加速器）、放射線の種類の問題（電磁波および種々のイオン種とそのエネルギー）、具体的な応用分野（計測、産

業応用、農業利用、医学利用）、そして放射線取り扱い（管理）などを理解することが必要である。もちろん基礎的な科学全般にわたる広い研究分野（天文学、地球科学、元素合成、核物理学、放射線化学、放射線生物学、考古学試料や環境物質にかかわる年代測定など）に放射線は利用されているが、ここでは放射線利用を通常使われている意味、すなわち科学ではなく技術面でとらえるという意味でとらえ、われわれの生活に直接に役立つことを目的とした利用分野を取り上げた。

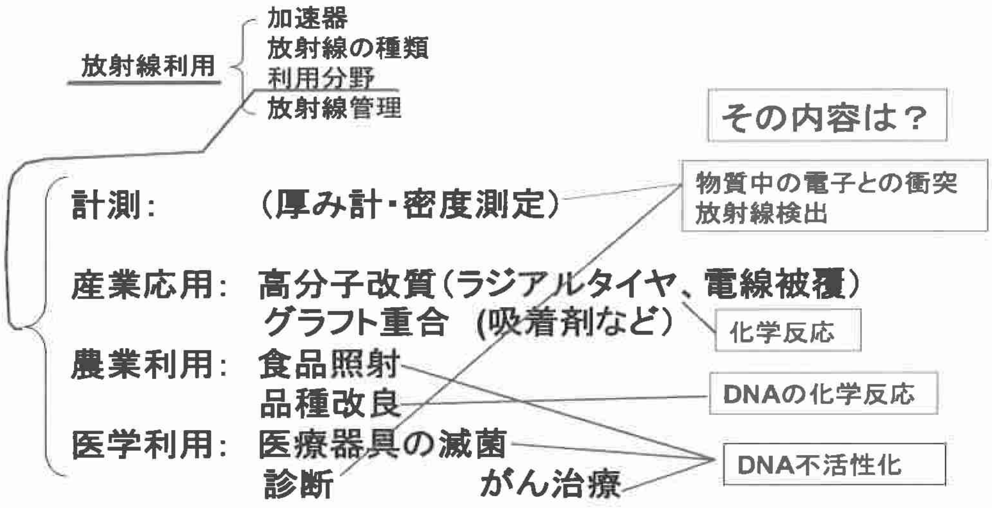


図３．放射線利用を学ぶための項目とその内容

利用分野を限定したうえでそれぞれの内容を整理すると図３がえられる。放射線利用が分かるということは、放射線利用をどのように分類するかという問題でもある。

（計測）

最初に断面が $1\ cm^2$ 深さ 1 cmの液体の水に1 本の γ 線が走ることを考える。水分子に含まれる電子数が10、水の分子量が18であるから、水内の電子密度は $(1/18)\cdot 6\times 10^{23}\cdot 10 = 3.3\times 10^{23}/cm^3$、また電子の断面積は(1)式より $2.46\times 10^{-29}\ m^2 = 2.46\times 10^{-25}\ cm^2$ なので、(4)式を用いて γ 線は $\exp[(-2.46\times 10^{-25}\ cm^2)(3.3\times 10^{23}/cm^3)(1\ cm)] = 0.922$ の確率で深さ1 cm まで到達する。10 cmの深さであれば、この確率は0.444、100 cm の深さであれば電子と衝突しないで到達する確率は0.0003 となる。ただし衝突といっても、正面衝突に近くもの、かすめるような衝突などもある。実際上の場合で γ 線の到達距離を見積もるために、仮にいま電子のほぼ中心部分の衝突（電子半径を半分にとる！）に限ってみよう。すると電子 $\sigma = 0.6\times 10^{-25} cm^2$ となり γ 線は $\exp[(-0.6\times 10^{-25}\ cm^2)(3.3\times 10^{23}/cm^3)(100\ cm)] = 0.13$ の確率で深さ100 cm(= 1 m)にまで到達する。10 m の距離でも到達確率は 1.8×10^{-9} となり、もしも γ 線が強力な線源の場合で仮に 10^{13} 本もあれば 10^4 本くらいは到達することになる。ガンマ線の遮蔽には何mという水（あるいは相当する電子密度）が必要なのである。

(3)式を使えば既知の密度の物体の厚さ、また厚さが既知の物体の密度が測定できる。医学利用

のレントゲン撮影も電子密度の差を識別するものである。線源の強さ、検出器の大きさ（放射線が入射する窓の広さ）などの注意が必要である。一般的には標準試料との比較から測定値を補正する。

（産業応用；高分子改質）

放射線の産業応用にさいしては、放射線を作り出すときの費用が問題となりやすい。自然界に存在する放射線は利用に用いるほどは存在しないので、荷電粒子をつくり（例えば原子や分子を放電によりイオン化し正・負のいずれかのイオンを選び出して）電磁場で加速する。放射線は電気エネルギーを荷電粒子の運動エネルギーに変換したものと考えられる。

すでに４では、分子の大きさと放射線エネルギー利用の効率の問題を議論した。ここでは高分子の代表であるポリエチレンを取り上げる。ポリエチレンはエチレンが直線

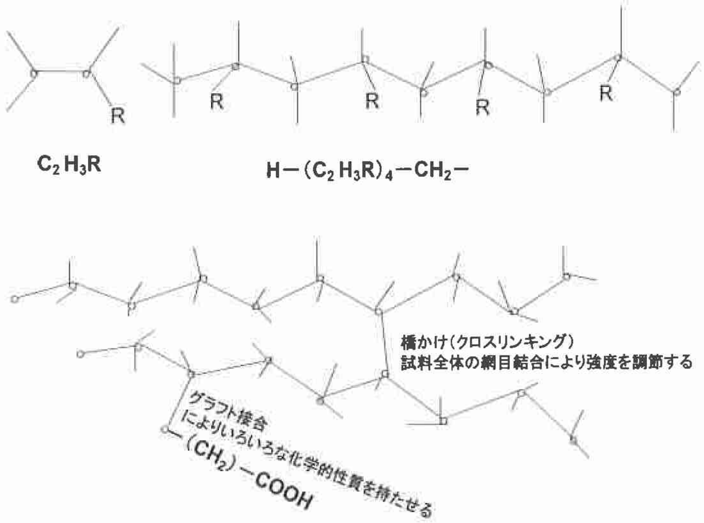


図４．エチレンからポリエチレンができる

エチレン分子C_2H_2は２つのC原子からそれぞれ３方向に伸びる軌道が平面状に配置され、C原子と２つのH原子と化学結合（□－結合）している。残りの結合に関係しない軌道が平面に垂直に伸びて電子がそれぞれ１個ずつ存在し、互いに混入しあってすこし弱い化学結合（□－結合）を形成する。このうちの１個の電子がたまたま近づいてきた別の原子（たとえば金属原子など）と結合したり、あるいは放射線で飛ばされたりすると、残りの電子は他の分子（たとえばエチレン分子）と結合しやすくなる。こうして多数のエチレン分子が直線状に結合したものがポリエチレンと呼ばれる高分子である。C_2H_4のHの１個が他の原子や原子団（R）に置き換わったものもよく使われ、種々の性質をもつ高分子になる。

状に長く連なったものである。放射線照射によってどこか１箇所のC-Hが切断されたとしよう。Hが拡散してもすぐに戻って元の状態に戻る場合もあるが、また予め共存させておいた望みの性質を持つ化学物質と反応して（グラフト）異なる性質を持つポリエチレンに変わること、別のポリエチレン分子との間で結合が起こる（橋かけ、架橋）こともある。グラフトによって吸着剤や脱臭剤をつくったり、また橋かけによって機械的な強度を強くしたり耐熱性を増したり（電線の被覆など硬化プラスチック）して広く使われる。

エチレン（分子量28、電子数16）28グラムと重合度10^4のポリエチレン（1 個の高分子あたり分子量28×10^4、電子数16×10^4）28グラムがあるとする。分子数にすると前者は6×10^{23}、後者は6×10^{19}である。前者をすべてイオン化して反応させるに必要なエネルギーは$30\times6\times10^{23}$ eV =2.9×10^6 J、後者をすべてイオン化して反応させるには$30\times6\times10^{19}$ eV =2.9×10^2 J、質量は両者とも28グラムなので必要な線量で比較しても4桁の違いで高分子の方が線量は少なくてよいことが分かる。すなわち必

要な消費電力がはるかに少なくて済むのである。

（環境保全への応用例一つ）

石炭火力発電所（石炭1gの燃焼熱25kJのうち30％が電力になり、また石炭は1％の硫黄Sを含むとする）からでる燃焼ガスはSO_2を含み酸性雨の原因になる。排ガス（主成分は窒素、二酸化炭素、水蒸気）に電子線ビームを照射すると放射線化学反応により、100eVのエネルギー吸収につきイオン化が3個（N_2^+＋e）、励起分子が2個（N_2^*→N＋N）生じることが知られている。N_2^+ や e のまわりにH_2O、CO_2、SO_2 があつまってエアロゾルとなり、また N原子は SO_2 を SO_3 に酸化する。結局、放射線エネルギー（＝電力とみてよい）100 eVあたり10個の S が SO_3 に変わり、そこに NH_3 を添加して硫酸アンモニウムの粉末として除去することが提案されている。反応に必要な放射線エネルギーの計算結果を示すと、石炭火力発電所では1％Sを除去するために発電した電力の5％を消費することになる。

（農業利用・食品照射・がん治療）

農業利用の一つの方法として、植物のDNAに放射線を作用させて突然変異を起こしわれわれに都合の良い品種に改良することがある。食品照射は食品中の微生物のDNAに働き増殖を抑えるものである。がん治療もがん細胞のDNAの増殖を抑えるものである。巨大分子であるDNAでは、数Gyの照射でDNAの塩基の一部に化学反応を起こし、品種改良が期待できるであろう。しかし細胞を死滅させることを目的とするがん治療や種子の芽止めでは10から100 Gy が必要とされる。また医療機器の殺菌や食品照射で微生物（バクテリアなど）などはるかに小さいDNA分子を死滅させる（増殖を止める）には kGy（キログレイ）の桁の線量が必要とされる。さらに試料が大きい場合や広い範囲を均一に照射したい産業利用や食品照射ではガンマ線が用いられる。あるいは透過力が大きくビームを広げることが容易なエネルギーの大きい電子線が用いられる。小さい腫瘍部分を死滅させるような場合は、種々の電荷とエネルギーをもつイオンビームのうちから、目的とする腫瘍部分にのみ大きな放射線エネルギー（数十Gy）が付与され、他の部分にはできるだけ影響が及ばないように工夫されることが多い。

６．おわりに

自然界にある放射線はおよそ100年前に発見され、放射線利用としては主に X 線が使われてきた。50年ほど前からは原子炉と加速器が次第に普及し、原子炉で製造されるラジオアイソトープ（Co-60など）が使われ始めた。放射線は原子の内部構造の研究、原子核の構造、また原子配列や物質の電子状態など、物質の研究のために必須の道具となっている。その応用として微量物質の化学分析、状態分析、考古学試料や岩石の年代測定などに、さらに近年では物質の基本粒子の成り立ち、元素の生成、宇宙の創生、天体内部の現象、宇宙空間における物理・化学の研究に欠かすことのできない手段となっている。本稿では放射線利用のこうした科学的な側面ではなく、人間生活に関係した面での利用を学ぶときの基本と思われることを説明し、放射線教育関係者の注意を促すことを願った。

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 11, No. 1, p. 13 - 24 (2007)

放射線測定実験要領書の検討－高校生を対象として－

宮坂駿一[1,2]、播磨良子[1,2]、石塚龍雄[2]、植木紘太郎[2]、松本誠弘[2]、
中井優[2]、山野直樹[2]、菊池文誠[1]、畠山正恒[1]

1)NPO 法人放射線教育フォーラム
〒105-0003　東京都港区新橋西新橋３－２３－６　第一白川ビル
mt01-ref@kt.rim.or.jp
２）NPO 法人放射線線量解析ネットワーク
〒185-0001　東京都国分寺市北町四丁目１３番地１４　radonet@radnet.servebbs.net
(3 月 20 日受理)

[要旨] 簡易放射線測定器「はかるくん」を利用した放射線測定実験の事例から、放射線の振る舞いを正しく認識していない指導例が見られた。学校教育における放射線測定実習を正しく、適切に行うため、「はかるくん」と「実習キット」を用いて実験と解析を行うと共に、教育現場での指導のあり方の検討を行い、高校生を対象としたガンマ線測定実験のための指導要領を検討した。

１．まえがき

（財）日本科学技術振興財団（昨年度までは（財）放射線計測協会）から無料で貸し出されている簡易放射線測定器「はかるくん」を利用した放射線測定実習が、小・中・高等学校で広く行われており、測定結果をまとめた実践報告書も数多く出されている[1)～6)]。

しかし、実践報告書の中には、貸し出された「はかるくん」に添付されている実験手引きなどの資料を十分生かしていない指導報告や、バックグラウンド、逆２乗則、物質透過の概念など放射線を正しく認識していない指導が行われている事例もみられた。

NPO 法人放射線線量解析ネットワークは、正しい放射線遮へいに関する知識を一般に普及することを目的とした遮へい専門家の集団であり、上記のような事例を知って、「はかるくん」を利用した教育現場における放射線測定について適切な指導要領を作成し普及する必要があると痛感し、正しい放射線測定実験要領書の作成と、それに基づく教育現場での指導の可能性について検討を行っていた。また、NPO 法人放射線教育フォーラムは、同様に放射線に関する正しい知識の普及を目的としており、学校における放射線教育を改善するための要望の提起や政策提言を国に対して行っており、同時に学校現場における放射線実験指導のあり方に問題のあることを指摘していた。

この様な現状を踏まえ、両 NPO 法人の会員有志が共同して学校教育における正しい放射線測定実験指導要領の作成と、それに基づく現場指導の可能性について検討することとした。検討会は、名称を「放射線教育実習検討会」とし、理科・数学教育の現状の把握、「はかるくん」を用いた基礎的な放射線測定実験の実施とモンテカルロ計算[注1)]による検証、指導要領書案の検討などを行った。

2．現状と問題点

（財）日本科学技術振興財団（以下、財団と略記する）から貸し出される放射線測定器「はかるくん」を利用した自然放射線測定実習が、小・中・高等学校で広く行われており、そのための指導要領書や実践報告書も数多く出されている。財団は、「はかるくん」の貸し出しに当たって、「はかるくん」による放射線測定－実習テキスト－、「はかるくん」による実験手引（教師用）、「はかるくん」を活用するために-副読本・1(放射線)などを併せて配布し、放射線に馴染みのない人にも「はかるくん」が正しく取り扱えるよう配慮している。しかし、「実習テキスト」では、線源の置き方について、特段の指導は行っていない。「実習キット」に同梱されている線源の形状は、円柱形状であり、放射線の強さが線源の置き方によって異なる可能性がある。また、遮へい材の材質効果の実習指導では、線源を取り囲むように4種類の遮へい体を配置し、同時に透過線量の測定を行う図が示されているが、この幾何形状では遮へい体相互間の散乱線による影響が気になる。また実習テキストでは、遮へい効果の測定において線源と測定器との間の距離は一定に保たなければならないという実験条件が示されていない。遮へい専門家としては、これらの条件を実際に「実習キット」を用いて確かめると共に、計算コードを用いて解析する必要があると感じた。

また、X線装置を用いた実験から、『自然放射線と人工放射線の違いが認識でき、自然放射線は安全である』ことを理解した生徒が増えたとする報告[2)]が見られたが、自然放射線と人工放射線は全く同じものである。X線やガンマ線は他の種類の放射線に比べ、物質の性質を変えることなく、物質中を透過すると言う性質を利用して、医療診断や非破壊検査など、色々な分野で利用されているが、放射線の利用を安全に行なうため、放射線安全の三原則に従い適切な遮へい体の設置や照射時間の制限などを行い、被ばく線量の低減をはかっていることを認識させるべきである。

一方、理科・数学教育、特に高校教育における実態は、多くの高校が大学入試を念頭に置いたカリキュラム編成を行っていること、理工系を志望する生徒が選択すべき物理Ⅱ（ここで原子と原子核を学ぶ）や、数学Ⅱの「指数・対数関数」、数学Cの「統計と確率」などの教科の履修率が極めて低いことなどから、これらを理解できる生徒が極端に少ない。本検討会では、この様な現状を踏まえ、下記に示す目標を立て、検討を開始した。

ⅰ．学校現場では「はかるくん」を用いた自然放射線の測定や霧箱の実験を通じて、私達は放射線場(バックグラウンド)の中で暮らしていることを実感として体験させる。さらに、放射線の物理的な性質を正しく認識できるような実験、放射線被ばくからどの様にして身を守るかという実際的な教育を行う。

ⅱ．放射線は、点線源の場合は距離の逆2乗則で減衰すること、物質中では散乱・吸収されること、放射線の減衰は線源のエネルギーや物質の性質（密度など）によって異なることなどを正しく認識させる。

ⅲ．放射線からの安全は、① 被ばく時間を短くすること、② 線源から離れること、③ 線源と観測点（人間）の間に自分の体より広い遮へい物質を置くことによって守ることができる。この三原則が守られれば、放射線は安全に取り扱えることを正しく認識させる。

ⅳ．測定および測定結果の整理に当たって、なぜ我々は自然放射線に囲まれているのか（原子と原子核）、放射線の測定値がばらつくのはなぜか（確率事象）、なぜ何回も測定して平均

値を取らなければならないのか（統計処理）、測定結果をグラフに書く（対数グラフ）などについて、正しい知識を与える。

ｖ．（財）日本科学技術振興財団から貸し出されている「はかるくん」と「実習キット」および同梱されている線源を用いて遮へい実験という立場からキットの検証を行う。

３．検討内容

先ず、「はかるくん」と「実習キット」および同梱されている線源を用いて遮へい実験という立場からキットの検証を行った。

（１）測定器「はかるくん」

取り扱い説明書によると「はかるくん」には、ガンマ線が測定できる DX-200 とメモリータイプ、β線の測定が出来るⅡベータ機能があり、前二者の検出器には CsI(Tl) シンチレータ、後者には Si 半導体が用いられている。感度、計数効率は、DX-200 とメモリータイプでは 0.01μSv/h において 10cpm 以上、Ⅱベータ機能では U_3O_8 のβ線に対して 10%以上とある。DX-200 とメモリータイプの測定エネルギー範囲は、150keV～3MeV である。「はかるくん」の測定値の表示単位は、ガンマ線ではμSv/h、β線では cpm で表示される。

「はかるくん」で測定していると約 10 秒ごとに表示値が変わる。マニュアルによると、表示値は過去 60 秒間の平均値を示すとある。筆者らの測定では、同一場所で１分間、５回測定し、平均値を取り標準偏差も計算した。また、測定値がバックグランド値の２，３倍程度以下になったところで測定は打ち切った。

また、放射線量の高い場所から低いところ、あるいは低い場所から高いところに「はかるくん」を移動した時には、測定値が安定するまで１分以上待ってから測定値を記録した。測定値をプロットした図には、標準偏差による誤差を記入した。

（２）線源

線源は、図 1 に示すように直径約 25mm の金属らしきもので覆われた円板で、アクリル円筒の中央に収納されている。アイソトープ協会のカタログを検索すると，ジュラルミン被覆の４０３タイプが該当しそうであるが、金属の光沢からは異なる感じである。放射能強度が 740ｋBq の Cs-137 とあるが、同カタログには記載がないので、特製かも知れない。

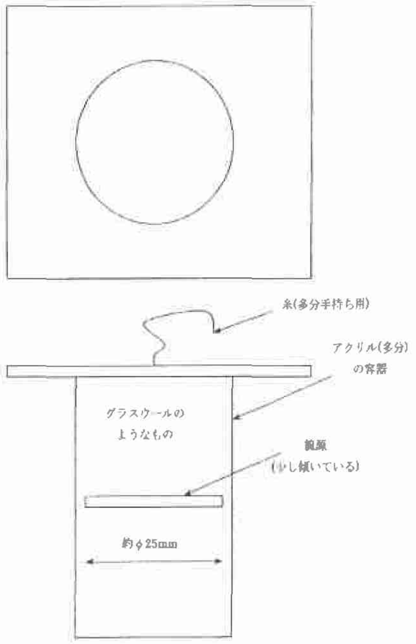


図１　線源形状

被覆材の遮へい効果のため、線源の上方向と横方向では強さは異なる。従って、測定実習に当たっては線源をどの向きに置くかが重要になる。

（３）距離による線量率の減衰（その１　距離の逆２乗則[注2]）

測定点から見て線源の大きさが十分小さければ（線源が点状と見なせる）、放射線の強さ（線量率）は、線源からの距離の２乗に反比例して減衰することを生徒に理解させる必要がある。

表１は、線源から測定器を 10cm、20cm、・・・と遠ざけながら、線量率を「はかるくん」メモリータイプおよび「はかるくん」DX-200 で測定した結果である。なお、表の測定値はバックグラウンドを差し引いた値である。表１の同じ位置での「はかるくんメモリー」と「はかるくん DX-200」の測定値が異なっているのは、はかるくん取扱説明書にも記載されている様に、それぞれの測定器には感度特性（指示値の真の値に対する比）があり、同じ場所で同じ強さの放射線を測っても、測定値に±10%程度のバラツキがでることに起因する。

表１　　線源からの距離による線量率の変化

線源：Cs-137　740kBq（半減期：30.04 年、エネルギー：0.662MeV、放出率：85.1%）

		はかるくんメモリー		はかるくん DX-200	
i	距離（Ri） cm	測定値（Di） μSv/h	標準偏差	測定値（Di） μSv/h	標準偏差
1	10	4.910	0.0391	5.353	0.0465
2	25	0.879	0.0207	0.953	0.0060
3	50	0.231	0.0081	0.221	0.0140
4	75	0.097	0.0066	0.103	0.0071
5	100	0.055	0.0087	0.049	0.0059
6	150	0.030	0.0063	0.023	0.0050

図２は、表１の測定結果を線源からの距離を横軸に、線量率を縦軸に取り両対数グラフにプロットした図である。測定値を結んだ線が直線（点線で示した線）に殆ど載っており、図２の点(10,1)と点(100,0.01)を結んだ「傾き－２の直線」と平行していることから、測定されたガンマ線線量率は、点線源から逆２乗の法則に従って減衰していることがわかる。

線源からの距離が R_i、R_j である２つの測定点の測定値をそれぞれ D_i 、D_j とし、下式を用いて X と Y を求め、X の値と Y の値がほぼ等しければ、２点間の線量率は距離の逆２乗則に従って減衰していることが計算からも確認できる。

$$R_i^2/R_j^2 = X, \qquad D_j/D_i = Y, \qquad \text{ただし、} i \neq j.$$

ここでは、例として表１の測定点 25 cm(R_2)と測定点 100 cm(R_5)における「はかるくん」メモリーの測定値を例として計算してみる。25cm における線量率は 0.879 ・Sv/h(D_2) 、そこから４倍の距離にある測定点 100cm の線量率は 0.055 ・Sv/h(D_5) であるから、X ＝ $1/4^2$ = 0.0625、Y = 0.055/0.879＝0.063 となり、測定誤差を考慮すれば距離の逆２乗則に従っていることが確認できる。他の測定点についても、同様に計算してみると、幾つかの i と j の組み合わせでＸとＹの差が大きく異なる組み合わせがあるが、殆どの組み合わせについて、ほぼＸ≒Y が成り立っている。

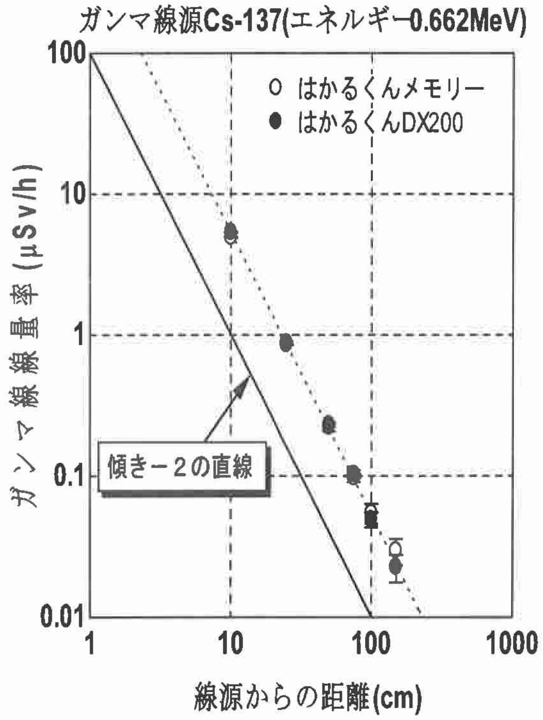


図２　点線源からの距離による線量率変化

（４）距離による線量率の減衰（その２　広がりのある線源）

（３）で、線源の大きさが十分小さければ、線量率は距離の逆２乗則で減衰することを示したが、広がりのある線源では、線源の近くではこの法則が成り立たないことを確認する。

広がりのある線源を模擬するため、図３に示すように２個の Cs 線源を 20cm(または 50cm)離して置き、線源間中心軸に沿って「はかるくん」を 10cm、20cm、・・・と後方に移動しながら線量率を測定した。

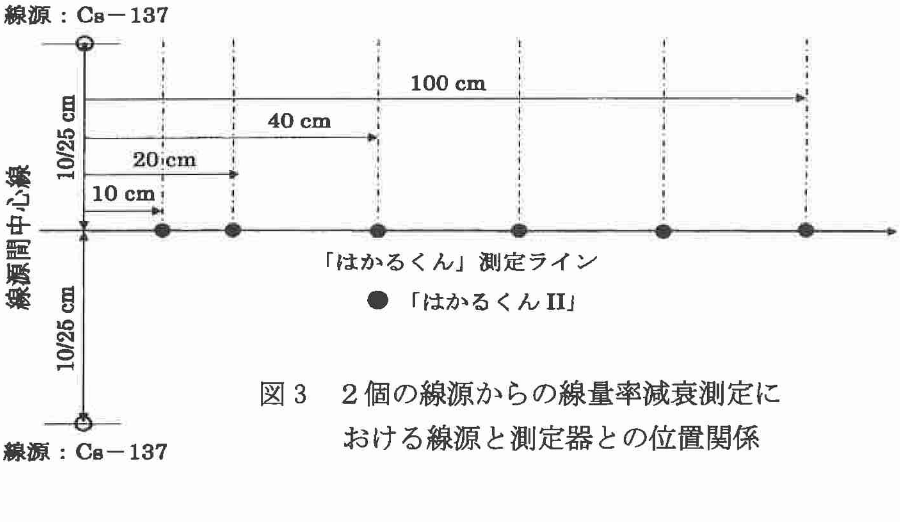


図３　２個の線源からの線量率減衰測定における線源と測定器との位置関係

測定結果を図４に示す。図４の両対数グラフにプロットされた二本の減衰曲線は、それぞれ線源に近い位置では図２に示す線源が１個の場合の減衰曲線より緩やかになっている。図４の横軸は、図３に示すように二つの線源の中心点から「はかるくん」が置かれている点までの距離で表されている。したがって、「はかるくん」が線源点に近い場所では、線源からの実際の距離に較べて短くなるため、線源に近いところではゆるやかに減衰しているように見える。「はかるくん」が線源から遠くなると線源間中心点からの距離とそれぞれの線源と測定点との実際の距離との差が小さくなり、減衰曲線は直線に近づいてくる。このように、点線源が平面的に広がって存在すれば、線源の近くでは逆２乗の法則が成り立たないことが理解できる。

図５は、横軸を線源から「はかるくん」までの実際の距離（線源と測定点を結んだ直線）にとって線量率をプロットし直した図である。この図から、各点の測定値を結んだ線は直線上にあり、傾きはほぼ－２に近いので、それぞれの線源からの線量率の減衰は逆２乗則に近づいていることが判る。また、それぞれの点における線量率は図２に示す線源が１個の場合の線量率のほぼ２倍になっており、２つの線源の重ね合わせの原理が成り立っていることが確認できる。

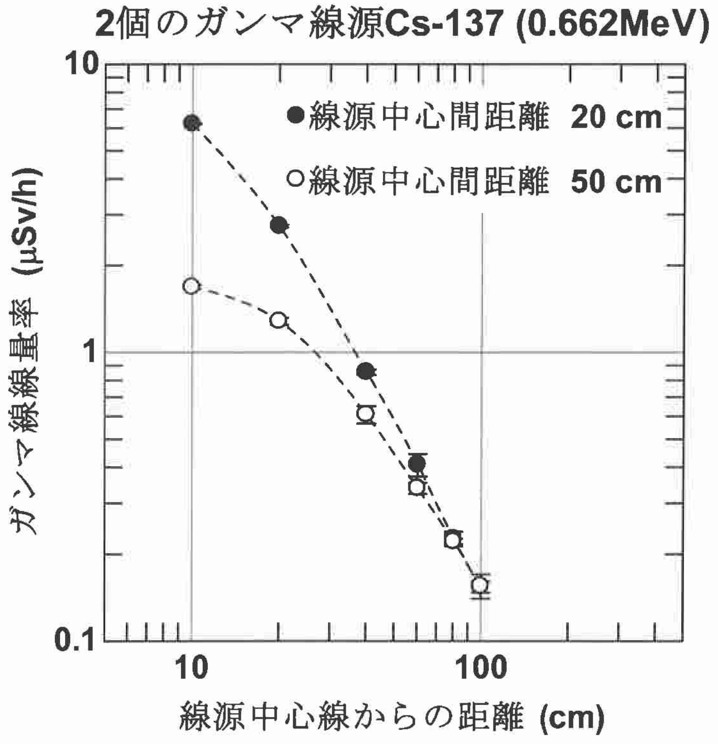


図４　２個の点線からの線量率の減衰

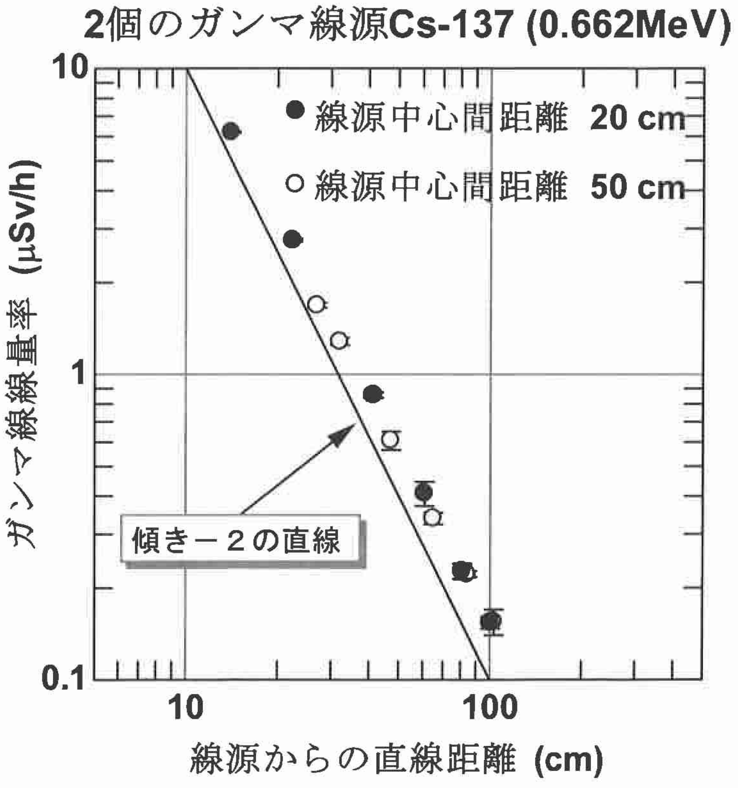


図５　２個の線源からの距離による線量率の変化

(線源から測定器までの実際の距離)

（5）物質の遮へい効果

実習テキストでは、図 6 に示すようにほぼ同じ厚さの 4 種類の遮へい体で線源を取り囲むように配置し、それぞれの透過線量を同時に測定し、遮へい材の種類によって遮へい効果が違うことを測定する実習方法が示されている。

この様な体系では、遮へい体からの後方散乱線が相互に影響する恐れがある。その影響がどの程度あるかを知るため、4 種類の遮へい体を図 6 にように置いた場合と、それぞれ単独で置いた場合について、モンテカルロ計算コード MCNP[7] で比較計算を行った。モンテカルロ計算は、1.0×10^{10} 個/分の強度を持つ Cs-137 線源を図 6 に示すように支持台の中央に置き、断面が 10cm×10cm、厚さ 1cm の鉛、鉄、アルミニウム、アクリルの遮へい体をそれぞれ線源から 5cm 離した位置に置いた。

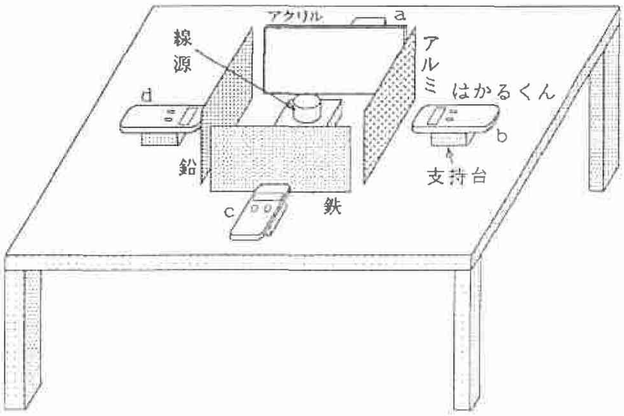


図 6　遮へい材の物質効果の測定

計算結果を表 2 に示す。表で「全部」とあるのは 4 種類の遮へい体を図 6 のように同時においた時のそれぞれの遮へい体からの透過線量率の計算値、「○○のみ」とあるのは○○だけをその場所に置き、他の遮へい体を除いたときの○○からの透過線量率の計算値である。

表 2　測定体系による透過線量の変化（μSv／h）

体系 ／ 遮へい体(密度)	全部	鉛のみ	鉄のみ	アルミニウムのみ	アクリルのみ
鉛(11.35)	４．０１５	４．０１３			
鉄(7.87)	７．５５９		７．５３４		
アルミニウム (2.699)	９．２０８			９．１２６	
アクリル (0.9-1.2)	９．５５４				９．４７６

表から分かるように密度が大きい鉛と鉄に関しては、他の遮へい体からの影響はほとんどみられない。密度の小さいアルミニウムとアクリルについては、他の遮へい体からの影響が僅かに見られるが、よほど精密な測定を行わなければその影響は分からないと思われる。

評価結果を考慮すると、物質による遮へい性能の違いを簡単に、かつ短時間で知る方法として、実習テキストに示されている測定体系は妥当であると判断された。

（6）遮へい体の広がりの影響

「実習キット」では、広がり（面積）がそれぞれ 10cm×10cm の鉛板、鉄板、アルミニウム板

およびアクリル板が遮へい体として用意されている。遮へい体の広がりによる透過線量の変化をモンテカルロ計算コードMCNPで計算した。計算は、図7に示すように遮蔽体の厚さを一定とし、広がり(面積)を5cm×5cm、7.5cm × 7.5cm 、10cm × 10cm、・・・と段階的に変えながら行った。

計算に用いた遮へい体は、厚さ10cmのアルミニウムとし、線源は740kBqのCs-137点線源、線源と検出器の距離は30cm、線源と遮へい体前面の距離は5cmとした。計算結果を表3に示す。表には、遮へい体がない（0cm×0cm）の場合の透過線量(0.75μSv/h)で遮へい体がある場合の透過線量を規格化した値も併記した。

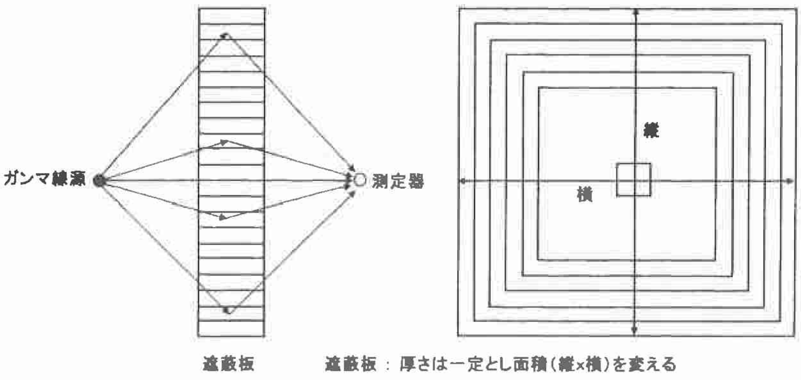


図7　遮へい体の大きさの影響評価のための計算体系

表3　　遮へい体の広がりと透過線量との関係

線源：Cs-137　740kBq　（半減期：30.04y　エネルギー　：0.662MeV　放出率：85.1%）
遮へい体の厚さ：アルミニウム 10.0cm
線源－検出器間距離：30cm、線源－遮へい体前面までの距離：5cm

遮へい体の広がり（縦×横 cm）	線量率（μSv/h）	規格値
0.0×0.0（遮へい体なし）	0.750	1.000
5.0×5.0	0.140	0.187
7.5×7.5	0.170	0.227
10.0×10.0	0.196	0.261
15.0×15.0	0.235	0.313
20.0×20.0	0.260	0.347
30.0×30.0	0.283	0.377
40.0×40.0	0.292	0.389
50.0×50.0	0.296	0.395

遮へい体がない場合の線源から30cmの点での線量率は、表3から0.75μSv/hである。線源と測定器の間に厚さ10cmで面積5cm×5cmのアルミニウムを置くと線量率は、0.14μSv/hと約5.4分の1に減衰する。すなわち、遮へいされる。しかし、表からわかるように、遮へい体の広がり（面積）が大きくなるにつれて、遮へい体を透過する線量率は増加し、50cm×50cmの広がりでは、5cm×5cmの広がりの約2倍近くになる。この原因は、図7で示すように遮へい体の広がりが大きくなるにつれて、線源から遮へい体を見込む角度が大きくなるため遮へい体に入射する放射線が増加することと、測定器から遮へい体を見込む角度が大きくなるため遮へい体内で散乱し検出器に入ってくる放射線（これを散乱放射線という）が増加するためである。実習キットを利用して遮へい効果の測定実習では、10cm×10cmの広がりを持つ試験体で測定を行っているが、計算で示したように遮へい体の広がり（面積）によって透過線量が異なることに留

意し指導する必要がある。

４．指導要領書

前節で述べたように財団から貸与される「はかるくん」と実習キットを用いて、実際に減衰実験および透過実験を実施し、モンテカルロ計算コードMCNPによる解析評価を行い、どの様な指導を行えば正しく放射線の性質を把握することができるかを検討した。

また、これと平行して中学、高校における理科・数学の指導教員が放射線と放射能の違いおよび放射線安全の３原則を正しく理解し、生徒達の指導に当たってもらえるかを検討した。また、放射線についての理解と実習で直ちに必要となる知識、すなわち、現在の理科・数学教育で十分指導されていないと思われるカリキュラム（原子と原子核、指数と対数、確率と統計）および原子力関係で使用される技術用語を如何に要領よく教えることができるかを検討した。

以上の検討結果を踏まえ、高校生を対象にガンマ線測定に限定し４時間から６時間程度の指導要領書を下記項目について策定した。

（１）放射線（ガンマ線）に関する基本的な事項
（２）放射線の強さ（線量率）の測定
（３）ガンマ線の物質による遮へい測定

以下、それぞれの要領書の概要を簡単に紹介する。なお、指導要領書の具体的内容については、NPO 法人放射線線量解析ネットワーク（RADONET）のホームページ<http://radonet.servebbs.net/>を参照していただきたい。

（１）は、放射線に関する基本的な事項を下記の５項目に分けて分かり易い言葉で解説したもので、財団から出されている『「はかるくん」を活用するために（副読本）』を補足するものである。

ⅰ．原子、原子核の成り立ち、放射線の種類、放射線と放射能の違い
ⅱ．放射線の性質と違い
ⅲ．放射能と放射線に対する単位
ⅳ．私達の身の回りの放射線
ⅴ．放射線の影響を少なくするためには

（２）は、財団の実習キットを使用した放射線の強さ（線量率）の測定実習手引きで、測定で準備するもの、測定手順と注意事項、測定データのまとめ方等が示され、記録用紙がエクセルシートで用意されている。また、線源や「はかるくん」をどの様に配置するかを示す写真を示し、実習が順調に行えるよう配慮した。なお、（２）には、線源が１個の場合と２個の場合の指導要領が示されている。前者は、点線源を模擬し、逆２乗則の確認のための実習を、後者は、線源の大きさが小さくなければ（広がりがある場合）、線源に近いところでは逆２乗則が成り立たなくなることを確認する実習がそれぞれ提案されている。時間に余裕があれば、是非、後者も実施していただきたい。

（３）は、遮蔽材料の種類や厚さによってガンマ線の強さ（線量率）が弱まる（これを遮へいという）ことを確認する実習で、線源と「はかるくん」の位置を固定し、中間に置かれた実

習キットに遮へい体を順次挿入して、透過線量を測定するもので、（２）と同様、測定で準備するもの、測定手順と注意事項、測定データのまとめ方等が示され、記録用紙がエクセルシートで用意されている。また、線源、「はかるくん」をどの様に配置するかを示す写真を示し、実習が順調に行えるよう配慮した。測定手順は（２）とほぼ同じである。

５．指導に当たっての注意事項

（１）実習結果のまとめ方

それぞれの実習は、測定に１時間、測定結果のまとめと考察に１時間、計２時間を予定している。従って、指導要領書（２）、（３）では、合計４時間（放射線の強さの測定（その２）を実施した場合、６時間）の時間が必要になる。

２時間目の測定結果のまとめ方と考察では、なぜ何回も測定して平均を取らなければならないのか、バックグラウンドの測定をなぜ行うのか、測定結果をグラフに描くとき、なぜ両対数グラフあるいは片対数グラフを使うと便利なのか、点線源の場合、線量率の減衰はなぜ距離の２乗に反比例するのか、遮へい体の材質（密度）によって遮蔽効果がどの様に変わるのか等々、指導要領書（１）に記載されている内容を参考に、生徒に考えさせる指導がなされることが望ましい。

（２）指導要領書に基づく実習所要時間

指導導要領書の手順に従って実際に測定を行い、記載内容の確認と所要時間の実測を試みた。

指導要領書（２）、（３）とも、用意するものが全て準備されていることを確認した後、手順①から手順⑧までの作業を順次行いそれぞれの所要時間を計測した。「はかるくん」によるバックグランドの測定は１分毎に５回測定した。また（２）の実習では「はかるくん」の位置を変える毎に、また（３）の実習では遮へい体を追加する毎に、「はかるくんの」指示値が安定するまで２分間の待ち時間を置き、その後、１分毎に６回の測定を行い、平均値を取った。

いずれの指導要領書も記載内容に落ちがないことが確認できたが、所要時間は30～35分とかなりの時間がかかった。この種の実験に慣れている筆者らでも、この程度の時間がかかるので、多数の生徒を指導しながら１時間と言う短い時間で実習を行うためには、かなりの準備が必要であると思われる。また、時間短縮のため、線源位置、測定点などは予めセットして置くのが望ましい。

（３）生徒に対する安全対策

財団から貸し出されている実習キットの放射線源は線源強度が740kBqと十分小さく、線量率は線源から100cmの位置で約0.05μSv/hであり、自然放射線による外部被ばく線量約0.086μSv/h[8)]とほぼ同じであり、被ばくの恐れはほとんどないが、放射線源をいたずらにもてあそばないよう指導する必要がある(なお､作業するときは線源に50cm程度まで近づくことがあるが、この位置での線量率は約0.22μSv/hで、自然放射線量の約４倍程度である)。

また、隣接する測定グループからの影響の排除（バックグラウンドの増加と生徒に対する不必要な被ばく）に留意しなければならない。

６．今後の課題

（財）日本科学技術振興財団から貸し出されている「はかるくん」を実際に使用し、放射線測定実習を正しく、適切に行うための検討を行い、指導要領書を作成した。検討会は、検討過程において理科・数学教育現場の実状を知り、放射線の性質を正しく認識させるための実習と結果のまとめ方の指導に多くの工夫が必要なことを認識した。特に、原子力分野で使われている専門用語を理解させ、統計・確率および指数関数と対数の知識を身に付けさせるにはどうすればよいかというテーマに多くの議論を重ねた。

学校教育におけるゆとり教育と進学を中心とした理科・数学のカリキュラム編成の見直しの必要性も議論されたが、当面、筆者らは、①被ばく時間を短縮する、②線源から離れる（距離を取る）、③線源と観測点（人）との間に適当な厚さの遮へい体を置くと言う三つの手段（これを放射線安全の３原則という）を講ずれば、放射線は安全に取り扱えることを身をもって体験できる指導要領書の作成を中心に作業を進めたが、測定結果のまとめに当たっては、生徒達に「なぜそうなるのか」を考えさせるような指導をしていただきたいと考えている。

今後の課題としては、バックグラウンドの測定および霧箱の測定に関する指導要領を検討しなければならないと考えている。

最後に、実際に指導に当たる理科の先生および指導を受ける生徒達が、本指導要領書の内容を十分理解し、与えられた時間内に実施できるか否かを適当な場所と時間を借りて検認しなければならないと考えている。

参考文献

１）「はかるくん」による放射線測定－実習テキスト－ 平成１８年１月　文部科学省、（財）放射線計測協会

２）宮澤弘二；「高校現場における放射線教育の実験事例と実状の報告」、放射線教育 Vol. ３, No. 1 (1999)

３）久保田信夫；「物理１Ｂでの『原子と放射線のカリキュラム』」、放射線教育 Vol. ３, No. 1 (1999)

４）岩倉三好；「自然放射線の測定実践報告」、放射線教育 Vol. ６, No. 1 (2002)

５）宮澤弘二；「自然放射線の基本的な概念形成のための実践教育」、放射線教育別冊(2005)

６）谷口祐美枝；「エネルギー教育における放射線の正しい理解を目指して」、放射線教育別冊 (2007)

７）MCNP コード：米国ロスアラモス国立研究所で開発されたモンテカルロ法による計算コードで、主に放射線遮へいおよび臨界計算に広く用いられる。現在、MCNP5 まで公開されている。
“MCNP—A General Monte Carlo N-Particle Transport Code Version 5,” LA-UR-03-1987, X-5 Monte Carlo Team, Los Alamos National Laboratory, (April, 2000).

８）1988 年国連科学委員会報告、全世界平均

注１）　放射線がある物質に入射したとき、物質内の何処で吸収されるか、散乱されるかは、全く確率論的である。この様な自然現象をシミュレーションするために乱数を用いて行う

手法をモンテカルロ法（Monte Carlo Method）と言う。この手法は、最初、中性子が物質中を動き回る様子を模擬するためにジョン・フォン・ノイマン(1903-1957)により考案された。

モンテカルロ法に関する基本的な教科書として、例えば下記がある。

・宮武　修、中山　隆；モンテカルロ法、日刊工業新聞社（1960）　平易で入門的
・津田孝夫；　モンテカルロ法とシミュレーション、倍風館（1969）　少し専門的

注２）　光は光源から離れるにつれて明るさが暗くなるように、放射線の強さ（線量率）も光と同じように距離が離れるにしたがって弱くなる。

今、球の中心に点状の放射線源があり、放射線はすべての方向に均等に放出されるとする。途中の物質内で放射線が散乱されたり、吸収されたりしないとき、放射線は均等に拡がるので、中心からの距離ｒにおける球面の単位表面積上では、放射線の強さは球の表面積（$4\pi r^2$）分の１の強さとなる。つまり、放射線の強さは、距離ｒの逆２乗に比例して小さくなる。これを逆２乗則と言う。

放射線教育 Radiation Education
Vol. 11, No. 1, p. 25 - 32 (2007)

光照射による水和電子の生成

—原子力研究のさなか発見されたもっとも基本的な化学種—

大野新一
理論放射線研究所
〒227-0054 横浜市青葉区しらとり台 12－5
E-mail: ohno-trl@01.246.ne.jp
(2008 年 3 月 10 日　受理)

[要旨] 電子を水中に注入する、あるいは水中で電子を発生させると水和電子(水和された電子)が生成する。真空中の電子は今から 110 年前に真空放電管を使った J. J. Thomson によって研究されたが、水中の電子は 40~45 年ほど前に、原子力研究開発のさなか、放射線化学の研究者たちによって発見された。本稿では、水和電子の研究の一端を紹介しながら、平凡な一研究者がどのように自分の研究テーマを探してきたかを紹介する。研究現場の実際に関心をもたれるかも知れないフォーラム会員諸氏の参考になることを願って報告する。

1．プロローグ

水和電子については、本フォーラム顧問の今村昌先生による放射線・放射能セミナー「水和電子」物語 (第一話) 発見のいきさつ、 (第二話) 吸収スペクトル」に詳しい解説 [1] がある。本稿と併せて参照していただきたい。

a. 真空中の電子

種々の電気現象（こはく、稲妻の光、電流の磁気作用、真空放電）において主役となる電子の本質がとらえられ、電子があらゆる物質に普遍的に含まれている粒子であることが明確になったのは 110 年前のことである。物質は実は電子の海であり、そのなかで電子の挙動をしらべることは困難である。物質中を走る電子でなく、真空中を走る電子を見るほうが理に適っている。J. J. Thomson (1897) は 2 つの方法を採用した [2]。1 つは、電気力や磁気力によって電子の走る道筋が変化する様子をしらべる。他は、多数の電子の流れによって真空容器の一端から他端に運び込まれるエネルギーと電荷のそれぞれの合計を同時に測定する。この 2 つの方法が電子を発見する最良の方法であった。これをきっかけとして他の粒子（放射線）が発見され、発見された放射線を用いて物質の構造が確かめられ、20 世紀の物質科学研究の基礎が誕生したのである。

b. 液体アンモニアに溶かしたアルカリ金属

液体アンモニアに少量のアルカリ金属を溶かすと、青く着色して(Weyle; 1864）、溶液は電導性を帯び、さらに溶液の体積が金属 1 mol あたり 70 ml も増大することが知られていた。Krauss (1907) は、この現象を溶媒和電子の生成による（$Na \rightarrow Na^+ + e^-_{NH3}$）ものとして説明した。他にも誘電体分極による液体内の空洞に捉えられた電子（Landau）、Na^+ の最近接 NH_3 分子の H に局在した電子（Becker, Lindquist, Alder）などのモデルが提案された。

c. 水の放射線分解

1940 年代後半から始まる原子力研究開発では、水の中性子減速の効果ならびに冷却材としての水の放射線分解が徹底的に研究されるようになった。水が分解して酸化性の活性種 OH と還元性の活性種 H ができると考えられたが、やがて還元性活性種は H のほかに別の性質をもつ(−1 の電荷を有する）ものも存在することが分かってきた。それが水和電子であって H 原子とは異なることを結論するためには、水和電子と H 原子の吸収スペクトルを確認して異なる化学種であることを示す必要がある [1)]。1962 年には、瞬間的（1 □秒の間）に強い放射線を照射し、その直後に吸収スペクトルを観測するパルス放射線分解法という手法を用いて水和電子の吸収スペクトルが見出された。

d. 水溶液における陰イオンの光励起

水溶液中で陰イオン、とくにハロゲン化物イオン(I^-、Br^-、Cl^-など)の光吸収の初期過程がイオンから配位水分子への電子移動であると考えられていた（Farkas, Farkas, 1938）。

$$(X^-, H_2O) + h\square \rightarrow (X, H_2O^-) \quad (1)$$
$$(X, H_2O^-) + H^+ \rightarrow X + H_2O + H \quad (2)$$

Frank と Platzman（1954）は、とび出した電子が特定の 1 個の配位した水分子 H_2O に移るのでなく溶媒水分子層のつくるクーロン場に捕捉される（CTTS: Charge-transfer-to-solvent 状態）という考えを発表した。Smith と Symons (1958) は、さらにイオン X^-の大きさに比して電子を放出した後の X(中性原子)は小さいから、電子移動の直後では溶媒と X との間に隙間(空孔)が生じ、とび出した電子は(F 中心のように)この空孔に捕えられるという。

2．1962～1965 年の水和電子研究の全盛時代

原子力の平和利用が本格化したこの時期、世界の主要国で水和電子の研究に注目が寄せられた。英米では主として電子線加速器を用いたパルス放射線分解を中心に直接に水和電子の吸収スペクトルを観測する研究、それ以外の国では水溶液のガンマ線照射による化学反応を調べて間接的に水和電子の反応を推定する研究が進められた。

a. パルス放射線分解と同期した分光測定

最初はμ秒のパルス幅の電子線照射直後の水和電子の吸収スペクトルの観測、また数 m 秒から数百 m 秒にわたる吸収スペクトルの時間的変化、とくに様々な溶質を存在させたときの時間的変化の測定から、水和電子と多くの溶質(有機および無機物質、生体分子、気体分子など数百種類)との反応速度定数のデータが蓄積されてきた。

b. 光化学

水分子のイオン化エネルギー ($H_2O \rightarrow H_2O^+ + e^-$ の反応を起こすに必要な最小のエネルギー) は 12.6 eV とされているが、これは気体の場合の話である。気体の水分子をイオン化でなくて励起する実験はいくつか報告されていた。たとえば 185 nm の光(6.7 eV)を水蒸気に照射すると水

はH と OHに分解する。また 147 nm の光(8.5 eV)ではより高い効率で分解する。しかし200 nm以上の波長の光では分解しないし、光を吸収することもない。液体の水では、そもそも励起状態が存在するのかどうかも不明のままであり、またイオン化はどうやらほぼ 7 eV 以上の光からではないかということが報告され始めていた。しかし実際の実験となると6 eV以上のエネルギー（波長200 nm以下の）の光子は石英ガラス、空気 (酸素) に強く吸収されるため、装置つくりが困難を極める。なんとか水に光を照射することができてもごく薄い層の水に吸収されるだけなので、吸収スペクトルの変化や化学反応の生成物の分析はほとんど不可能であった。**図1**にカナダ Vancouver 大学の Walker らが使った装置(1968)を示す。しかしこの装置を使った実験でも水和電子の生成を確認することはできなかった。

水そのものでなく溶質を光で励起する方法を試みることはもっと簡単であろうという予想はつく。ヘブライ大学の Jortner と Stein らは 1962~64 年にI^-、Br^-、Cl^-などハロゲン化物の水溶液に紫外線を照射するとき、

$$I^-_{aq} + 光 \rightarrow (I + e^-)_{aq} \rightarrow \qquad (3)$$

のようにI原子と電子e^-が近接した状態（“かご”の中）で生成する。予めe^-と反応しやすい溶質（H^+, アセトン, N_2O など）を高濃度に溶かしておくと(かごの中)でe^-との反応がすすむものとして実験結果を解析して見せた。これに刺激されてアルゴンヌ研究所の

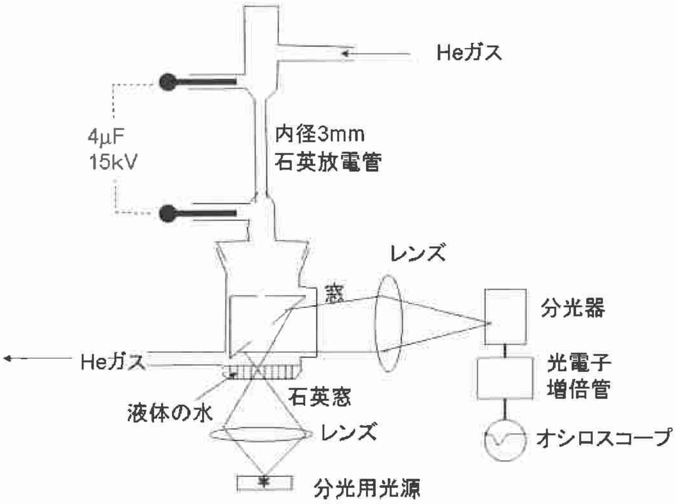


図1. Walker が用いた液体の水に対する閃光光分解装置.
He 気体の放電による 21.4 eV の光を水に照射し、その直後の吸収スペクトルを測定することを試みたが、水和電子の生成を確認することはできなかった(1968).

Matheson らはI^-、Br^-、Cl^-、$[Fe(CN)_6]^{4-}$をはじめ種々の負イオン水溶液に高い強度の紫外線（キセノンランプ）を瞬間的に照射し、直後の吸収スペクトルを写真撮影し（パルス放射線分解に

似たこの方法は閃光光分解とよばれていた）、可視部に幅広い吸収が現れることを見出し、この吸収が水和電子の生成によると思われることを報告した(1963)。大野（本稿の執筆者）は [3]、これを手がかりとして自分でも水和電子の研究が可能になるかもしれないと考えた。当時の日本では、ごく限られた研究機関を除いては、電子線加速器、閃光光分解装置などがまだ入手できる情況ではなかったのである。ここで大切なことは$[Fe(CN)_6]^{4-}$やその酸化体の$[Fe(CN)_6]^{3-}$はいずれも水溶液中で安定であり、性質も良くわかっていた。光照射すると、配位子の CN^-がはずれてアコ化が起こること、酸性溶液中ではとくにプルシアン青が生成することも調べられていた。そこでフェロシアンイオンの吸収スペクトルを調べると、ちょうど 1 年前に Gray ら(1963)が分子軌道法計算を用いて **図 2** のような帰属を報告していた。

Fe^{2+}イオンは 24 個の電子をもつが、そのうち 18 個は 1s, 2s, 3 個の 2p, 3s, 3 個の 3p の各軌道に 2 個ずつ、残り 6 個は 5 個の 3d 軌道に入る。ところが 5 個の 3d 軌道は、Fe に対して上下左右前後からくる 6 個の配位子 CN^-の方向に向かう 2 個の 3d 軌道（e_g）と配位子 CN^-の間に向かう 3 個の 3d 軌道（t_{2g}）に分けられるが、配位子 CN^-との電気的な反発の小さい軌道（t_{2g}）の方が安定である。6 個の電子は 3 個の軌道（t_{2g}）に 2 個ずつ入っている。光で励起すると配位子 CN^-の方に伸びる 3d 軌道（e_g）に移動し、配位子を押しやり、代わりに水分子が入ってくる。この励起を *d→d* 励起とよび、以前からよく知られていた。ここで Gray らの分子軌道理論によると、**図 2** に示すように、もっとエネルギーの高い励起では、3d 軌道からいきなり配位子 CN^-の反結合性軌道 □* に励起されるという。そこで光源として使われていた水銀灯の波長の位置を調べると、高圧水銀灯の 366 nm の光は d→d 励起であるが、低圧水銀灯の 254 nm の光では d→□* 励起が期待される。

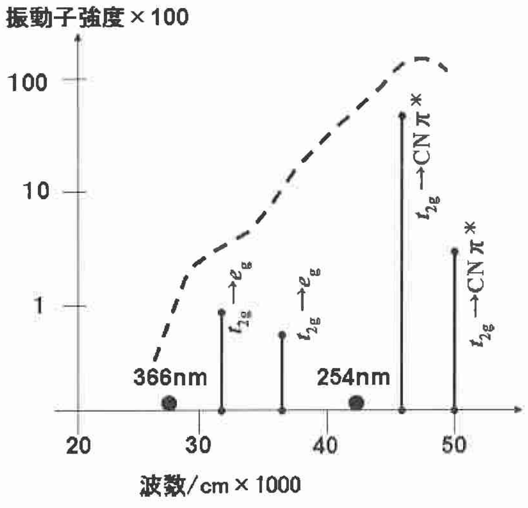


図 **2** Gray による$[Fe(CN)_6]^{4-}$ の電子スペクトルの帰属

まず、フェロシアン塩水溶液を亜酸化窒素ガス(N_2O)を飽和させてから 254 nm の光で照射すると、照射時間に比例してフェリシアンイオンが生成してくる。反応前のフェロシアンイオンは 220 nm にピークをもち、300 nm あたりまで裾がのびる幅広い吸収をもつが、生成物のフェリシアンイオンは 420 nm に吸収極大をもつので、両者は容易に区別でき、生成を確認し、また

分光光度計により生成量を測定することができる。

$$[Fe(CN)_6]^{4-} + 254\ \text{nm 光} \rightarrow [Fe(CN)_6]^{3-} + e_{aq}^{-} \quad (4)$$
$$e_{aq}^{-} + N_2O \rightarrow N_2 + O^{-} \quad (+ H^{+} \rightarrow OH) \quad (5)$$
$$OH + [Fe(CN)_6]^{4-} \rightarrow [Fe(CN)_6]^{3-} + OH^{-} \quad (6)$$

しかし溶液を酸性（$pH < 3$）にして照射するとフェリシアンイオンの生成は遅くなり、さらにメタノールを加えるとフェリシアンイオンの生成はなくなり、代わりに水素ガスの発生が起こる。

$$e_{aq}^{-} + H^{+} \rightarrow H \quad (7)$$
$$H + [Fe(CN)_6]^{3-} \rightarrow [Fe(CN)_6]^{4-} + H^{+} \quad (8)$$
$$H + CH_3OH \rightarrow H_2 + CH_2OH \quad (9)$$
$$CH_2OH + [Fe(CN)_6]^{3-} \rightarrow [Fe(CN)_6]^{4-} + HCHO + H^{+} \quad (10)$$

フェリシアンイオンの生成のほか、反応(5)の窒素の生成、反応(7)(9)の水素の生成などは質量分析計で確認できた。ここで反応(5)の亜酸化窒素からの窒素の生成と反応(7)の水素イオンからの水素原子の生成の反応はいずれも水和電子に特有の反応であり、水素原子では起こらないことが知られている。また反応(4) の水和電子の形成は、$[Fe(CN)_6]^{4-}$を濃厚な水酸化ナトリウム溶液として液体窒素温度で凍結させ、透明なガラス状態にして照射することにより溶液がすぐに青紫色を呈し、氷の欠陥に捕捉された電子の生成が確認できた。このときの喜びは今でも良く覚えている。詳しくは電子の ESR スペクトルを測定して確認した。

この系は、簡単な低圧水銀灯を用いて水和電子を発生させ、他に反応性の化学種を生成することがない。フェリシアンイオンの吸収の強さをモニターするという方法で反応の進行の程度を測定できる。この方法は、水和電子と多数の溶質との反応速度の研究、そして反応(5) で生成する OH ラジカルと多数の溶質との反応速度の研究、また水和電子と水素イオンの反応における H/D 同位体効果の研究、凍結固体中の電子の移動の機構や溶質との反応の研究などに応用できたのである(1964~1968)。

c. その他の研究

また、水和電子に限らずにありとあらゆる溶媒（およびこれらの溶媒の低温固相）についても実験が進められ、溶媒和電子とか捕捉電子とよばれた。溶媒和電子の大きさ、拡散定数、電気伝導度、常磁性共鳴吸収、反応速度、その温度依存性など、物理的・化学的性質が報告されはじめた。ちなみに日本からの光化学の研究では、メタノール中のヨウ化物塩からの溶媒和電子生成（メタノール中の反応(3)）の報告[4]がなされた。

水中のもっとも基本的な還元剤として水和電子と水素原子が存在することが明らかになるとともに、つぎのような問題が提出された。金属が水中で溶けるときに金属は酸化されて水は還元される。このとき水を還元する化学種は水和電子であろうか[5]、それとも水素原子であろうか？水和電子との反応が速い試薬（H^{+}、N_2O、NO_3^{-}、アセトン、など）と水素原子との反応が速い試薬（メタノール、エタノール、2-プロパノール、など）を使って両者を区別する試みがなされた。

ゆっくりと反応を行わせて観測しやすくするために Na 金属を水銀に溶かして薄めて（1％ Na アマルガム）から水中に落下させる。生成物を測定し同時に添加する溶質の比と放射線化学で報告されている速度定数の値との比較から、金属から最初にでてくる還元剤は水和電子であると結論された(1965, 1967)。

$$Na + nH_2O \rightarrow Na^+ + e_{aq}^- \qquad (11)$$

また Al (アルミニウム) を (N_2O＋メタノール) を含むアルカリ性水溶液に溶かすときにも N_2(窒素ガス）の発生が起こり水和電子の生成が認められた。さらに電気分解のさいのカソード反応で水素ガスが発生する場合にも、さらに電極を光照射することにより電流が増加する場合にも、電極から放出される電子が水和されることとして理解された(1967)。アルカリハライド結晶を X 線などで照射すると色中心が形成され、青や灰色に着色する。この着色した結晶を水中に溶かすときにも水和電子の生成が観測された。

3．水和電子の存在を体験したい方のために

a. 用意しなければならないもの

[必要な機器・薬品]：低圧水銀灯、石英容器、試薬(フェロシアン化カリウム、硝酸カリウム、エタノールまたはメタノール、水酸化ナトリウム、硫酸）、アルゴンまたは窒素ボンベ

[他に用意することが望ましい機器・薬品類]：分光光度計、石英製透明ジュワーびん、液体窒素、亜酸化窒素（N_2O）

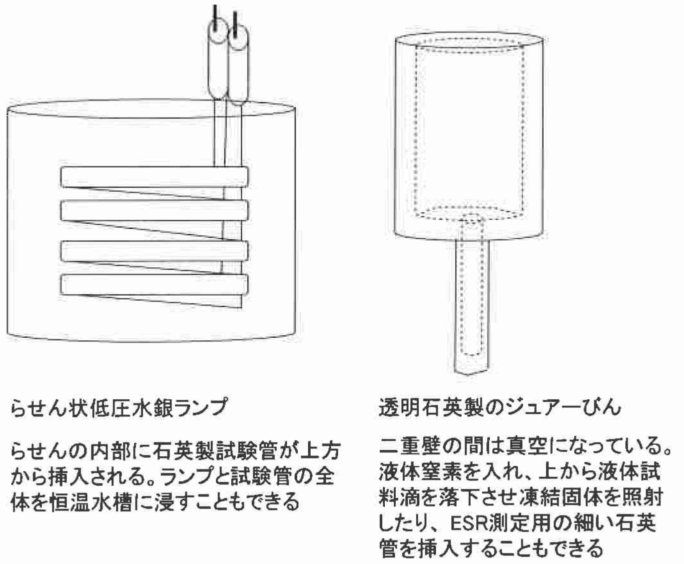


図 3　光照射に使う実験器具の例

b. 実験の進め方

普通の蛍光灯は低圧水銀灯そのものであるが、放電管の内壁には蛍光物質が塗られており、また通常のガラス管は紫外線を通さない。254 nm 用光源にするには石英ガラスを用いて作る（ま

たは理化学機器メーカーに依頼して作ってもらう）。ランプの形状は直線型、U 字管、らせん管など、好みに応じて用意する。10～20W で充分であるが、くれぐれも直接眼に紫外線が入らないように注意しなければならない。試料溶液はフェロシアン化カリウム（黄血塩）を精製水に溶かして 10^{-3} mol/l に調整し、さらに必要に応じて添加する物質を加える。これを石英ガラスの容器に入れ、酸素を除去するためにアルゴンないし窒素ガスを数十分間通気する。以下のことを確認できるであろう：

(1) フェロシアン化カリウム水溶液だけを 254 nm 光で照射してもほとんど変化は起きない。長く照射を続けると溶液は青みを帯び、青い沈殿が生じる。これは配位子を解離してアコ化が起きたり、また空気がある場合には酸化が起きるためである。

(2) 硝酸塩（10^{-2} mol/l 濃度の NO_3^-）の共存下で照射すると溶液はすぐに着色して赤みを帯びてくる。反応(4)に続いて起こる以下の反応によって$[Fe(CN)_6]^{3-}$が生成してくるからである。

$$e_{aq}^- + NO_3^- \rightarrow NO_2 + 2\,OH^- \qquad (12)$$

$$NO_2 + [Fe(CN)_6]^{4-} \rightarrow [Fe(CN)_6]^{3-} + NO_2^- \qquad (13)$$

(3) アルコールを含む硫酸酸性のフェロシアン塩水溶液の光励起(らせん状低圧水銀ランプを使う）では(7)(9)の反応により水素ガスの細かい泡の発生が目に見える。

(4) 細い石英管の先端に$[Fe(CN)_6]^{4-}$を含む水酸化ナトリウム（8～10 m/l)溶液を入れ、液体窒素を入れた容器の浅い部分に挿入してガラス状態に凍結させて照射を行う。放出電子が氷中の欠陥に捉えられて青紫色を呈する。透明な石英製ジュワーびんが利用できればさらに容易である。（光を直接見ないように注意すること）。

4．エピローグ

水の放射線分解で生成される水和電子の研究は、その後、加速器技術の進歩により、n(ナノ)秒から p(ピコ)秒にかけての研究が進められた。日本でも理研、北大、東大、阪大で使われるようになった。1990 年頃に至り、高密度レーザーとそれに同期した測定技術の進展に伴い、水中の速い電子の挙動が明らかになってきた。Gauduel ら(1987、1990)[6] の方法では、波長 310 nm、パルス幅 100 f (フェムト)秒の強いレーザーを用い多光子吸収により水分子をイオン化する（2 個あるいは 3 個の光子が 1 個の水分子に吸収される）。この分子から放出される電子は(ほとんど自由な状態で) 水中を走りつつ、近くの水分子の集まりがつくる捕捉されやすいサイトに 110 f 秒後に捉えられ、赤外領域にかけて幅広い吸収スペクトルを示す。さらに 240 f 秒後には 720 nm を中心としたよく知られた吸収スペクトルを呈することが分かった。

電子が 1 原子の距離(0.1 nm)を走るための時間はおよそ 0.1 fs (フェムト秒）、ところが同じ温度で 1 原子が同じ距離を移動するための時間はおよそ 100 fs である。1 fs パルスレーザーによって試料を励起するとき、その間は原子や分子の動きはなく凍結されたままで、電子だけがより安定な場所を捜しながら移動する。その後で原子の移動や分子の回転が起こる。水和電子の形成もその一例である。場合によっては化学結合が切断される。たとえば OH ラジカルや H 原子が生成する。つぎの段階では、生成した水和電子や OH ラジカルが周囲の水分子の熱運動のままにゆれ動かされて系内を拡散する。そしてたまたま反応しやすい溶質に接近することがあ

ると、その溶質との間で電子移動や水素原子移動がある確率で起こり、あるいは原子交換などの化学反応が始まり、放射線化学反応が進行する。ミクロの世界のこうした反応を時間を追って追跡する手段がパルス放射線分解とよばれる手法である。これとは別に、系を液体ヘリウムや液体窒素温度で凍結させ、化学種の拡散を停止させたままで ESR や分光法の手法を用いるのは凍結法とよばれる。

1970 年のチェコ・マリエンバードで、そしてフランス・エヴィアンで開催された放射線研究会議で Hart、Platzman、Matheson、Keene の講演を聴くことができ、また Walker、Dainton、Stein、Kevan らの個性豊かな研究者にお会いして議論できた。1990 年にアルゴンヌで開催された水和電子発見 25 周年記念の集まりでは Matheson、Jortner にお会いでき、古い思い出などを語り合うことができた。この翌年にはフランス・エコールポリテクニークの Gauduel のフェムト秒レーザー分光の装置を見せていただいた。部屋いっぱいに複雑に絡み合った装置の間をレーザーのパルス光が飛び交う大変な施設にただ驚くほかはなかった。

水和電子の研究に重要な役割を果たした電子加速器も、いつのまにかレーザー技術の進展にその役割の一端を引き渡したかのようである。位相が揃ったレーザーは人類が発明した光であり、発振周波数も可変、短パルス化(フェムト秒)も可能、高密度化も可能な、制御された光であり、小型の装置（机の上に設置できる程度の大きさ）を使って容易に利用できる。レーザーの強い電場を利用したり、大強度のレーザーの光子圧で電子放出を起こし形成される強い電場により、電子やイオンを数 MeV 程度に加速できる見通しも得られ、極く小さい領域にだけ目的とする放射線を目的の方向に必要な時間だけ発生させるような使い方もやがて可能になる。確かにいま、われわれは放射線発生の新しい技術を手にしつつあり、そして放射線利用の新しい時代を迎えようとしているのである。

文献）

1) 今村 昌：「水和電子」物語、第一話 発見のいきさつ、(2002) *放射線教育フォーラムニュースレター* No.22；第二話 吸収スペクトル、(2002) 同 No. 23.

2) ワインバーグ著, 本間三郎訳：電子と原子核の発見—20 世紀物理学を築いた人々，(1986), 日経サイエンス社.

3) S. Ohno et al: *Bull. Chem. Soc. Jpn*. **38** (1965), 2018; **39** (1966), 2560; **40** (1967) 1765; 1770; 1776; 1779; 2035; 2039; **41** (1968) 1301. 日化 **91** (1970) 91.

4) H. Seki, M. Imamura: *Bull. Chem. Soc. Jpn* **44** (1971), 1538.

5) D. C. Walker: Hydrated Electrons in Chemistry, *Advances in Chemistry Series* **81** (1968), 49.

6) Y. Gauduel et al: *J. Phys. Chem*. **93** (1989), 3880; *J. Am. Chem. Soc* **112** (1990), 2925.

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 11, No. 1, p. 33 - 40 (2007)

放射能泉地域のラドン濃度と利用客の被曝線量

堀内公子[1)]，滝沢英夫[2)]，鈴木絢香[2)]，甘露寺康雄[2)]
1) 大妻女子大学社会情報学部
〒206-8540　東京都多摩市唐木田 2-7-1
e-mail　horiuchi@otsuma.ac.jp
2) （財）中央温泉研究所
〒171-0033　東京都豊島区高田 3-42-10
e-mail　takizawa@onken.or.jp

(2008 年 3 月 24 日　受理)

要　旨

PICO-RAD 測定器はラドンが活性炭によく吸着することを利用して開発された市販のパッシブ型ラドン測定器である．積算型測定器で測定場所における空気中のラドン濃度平均値を知る事ができる．プラスチックバイアルの肩部に乾燥剤と共に一定量の活性炭を入れた多孔質の容器が取り付けてあり，ラドンをバイアル内の活性炭に吸着させ，液体シンチレーションカウンターで測定する．PICO-RAD 測定器を用いて，放射能泉の浴室およびその周辺の屋内ラドン濃度を測定した．水中のラドンはトルエン抽出-液体シンチレーションカウンター法（抽出法）で測定し、利用客の平均的利用法から放射能泉利用の際の被曝線量を概算した。

1. はじめに

我が国は世界に冠たる温泉大国であり、環境省の報告[1)]によれば温泉地は 2006 年度末現在 3,157 ヶ所を数えるに至っている。温泉は含有成分によって効能も特徴も異なることはよく知られているが、放射性成分も温泉を定める化学成分の一つであり、我が国の温泉の約 7%にあたる[2)]。放射能泉は小規模な温泉地が多く、高名な温泉地でも旅館が数軒程度と言う所が多い。

温泉水の中に含まれる放射性成分にはラドン（Rn : ^{222}Rn），ラジウム(^{226}Ra)，ラドンの放射性同位体トロン(Tn : ^{220}Rn)，アクチノン（An : ^{219}Rn）等が存在するが、温泉水中の放射性成分としてはラドンが主流である。ラドンは半減期3.825日でα崩壊する放射性のガス成分であり、温・鉱泉水中でほとんど他の溶存化学成分との相関はなく、単独に存在している。温泉の利用法としては外国では主として入浴、飲用、吸入の三通りに利用されているが、我が国では吸入はほとんど行われていない。しかしガス体のラドンは、湯の中に溶けているより空気中に逃げ出す分が多く、入浴の際ラドンは皮膚からだけでなく呼吸によって体内に取り込まれる。飲用ではもちろん消化管内を移動して排出されるが、吸入によって肺に取り込まれたラドンは肺から吸収されて血液循環に入り、全身に拡がっていく。従って全身に対する利用は、吸入の方が効率が良いとされてはいるが、肺に取り込まれるラドンは吸入の 4〜5%程度と言われている。

2001 年、国連の原子放射線影響に関する科学委員会（UNSCEAR）において、世界人口の自然放射線による平均被曝線量 2.4 m Sv の 1/2 : 1.2 m Sv がラドンおよびその崩壊生成物等の吸入

放射性核種による内部被曝であると報告された。それ以来居住環境、職場環境等の空気中ラドン濃度による被曝線量への関心が益々高まっている。しかし放射能泉利用の際の被曝線量に関する報告[3)]は殆どないのが現状である。

今回、昔から有名な強放射能泉地域：増富温泉の調査に際し、水中・空気中ラドン濃度を測定したので、それらのデータを用いて温泉利用客の被曝線量を検討した。

2. 調査地域，及び方法

調査は山梨県の増富温泉不老閣岩風呂及び内湯（長寿の湯）で行った．

増富温泉は金峰・瑞牆山の山麓を流れる本谷川のほとりにある鄙びた山の温泉地で、「信玄の隠し湯」とも言われている。不老閣は湯橋上流の沢沿いにあり，本館横の山道を 5 分ほど登った山裾に岩風呂の湯小屋がある（図 1）．岩風呂は浴槽底の花崗岩の割れ目より気泡と共に自然湧出しており，岩の窪みがそのまま浴槽となっており、浴槽のすぐ背後には花崗岩を覆う凝灰角礫岩が露出している．自然岩の窪みの底から湧出する湯は毎分約 1 リットル，泉質は（含弱放射能-）ナトリウム-塩化物冷鉱泉であり，pH6.4，泉温 18.9℃のいわゆる「かけ流し」温泉である．

入浴を希望する客は好きな時間（男女交代で入れ替え制）に自分で玄関のかぎを開けて入り利用するシステムで，岩風呂が冷鉱泉であるため飲泉所に上がり湯として加温風呂が設置されている。湯小屋は、岩風呂を好む湯治客による利用が中心である．浴室の広さはおおよそ 6.0 x 3.6 x 2.4m^3 程度，浴室（板の間）と廊下の間にドアはなく岩風呂に向かって右側に窓がある造りである．

———

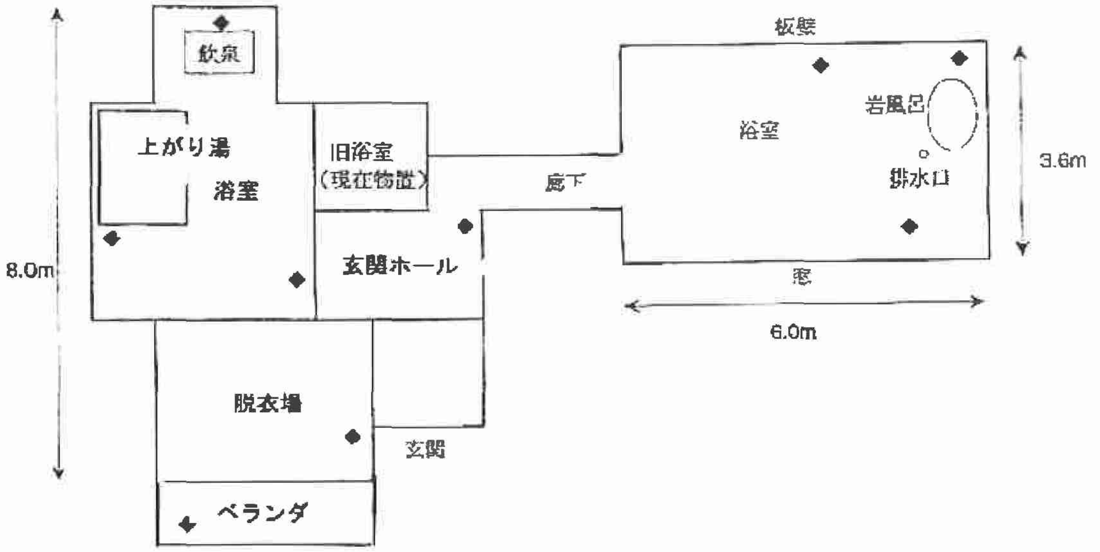


図 1　湯小屋見取り図（◆：PICO RAD 設置場所）

3. ラドン濃度の測定

3.1 空気中ラドン濃度

空気中ラドン濃度の測定はPICO-RAD測定器[4)]を使用した。

PICO-RAD 測定器はラドンが活性炭によく吸着することに着目してアメリカで開発され，市販され始めた簡易型の測定器で，空気中及び水中のラドン濃度をルーチンで計測することが出来るが、空気中の測定が主流である。プラスチック製の液体シンチレーションカウンター（LSC）バイアルの肩の部分に吸着材として活性炭を詰めた多孔質の容器が取り付けてある。空気中のラドン濃度を測定する際は，キャップをはずして測定場所に一定時間露出させ，ラドンを活性炭に吸着せしめた後，溶離用カクテル剤を用いて活性炭から溶離し、LSC で計測する方式である．

測定下限は10分間の計測時間、統計誤差10%で11.1 Bq/m^{3}である．我が国の全国調査[5)]による屋内ラドン濃度の算術平均15.5、標準偏差13.5Bq/m^{3}で低い屋内ラドン濃度の多い我が国では測定下限はやや高いが、屋内ラドン濃度の比較的高い欧米では簡便で有効な検出器である。ちなみにアメリカの環境保護局（EPA）によるアクションレベル（屋内ラドン濃度が高いとき注意を喚起せしめる値）は150 Bq/m^{3}とされている。

今回はアトランダムに湯小屋の内部数か所と湯小屋の外部、本館へ至る山道の途中、本館内湯等にPICO RADを設置し空気中ラドン濃度を測定した。その結果は表1に示した。

表1 空気中ラドン濃度測定結果[Bq/m^3]

	測 定 場 所	Bq/m^3	(av.) Bq/m^3
湯小屋（屋内）	岩風呂（浴室）	360、390, 360	370 ± 17
	上がり湯（浴室・飲泉所）	590, 980, 630	733 ± 215
	脱衣場・玄関ホール	220, 450	335 ± 163
（屋外）	ベランダ（湯小屋脱衣場外）	60	60
	本館への道の途中	15＞	15＞
本 館	内湯（男子浴室）	42、35	38.5± 5
	脱衣・休憩所	120, 160, 120	133 ± 23

3.2 源泉中のラドン濃度測定

トルエン抽出-LSC法[6)]により測定した。本法はラドンが有機溶媒によく溶けることを利用して開発された測定法である。試料水1Lに含まれるラドンをトルエンベースの液体シンチレーターで抽出し、LSCでラドン濃度を測定する。測定結果は表2に示した。

表 2　水中のラドン濃度測定結果

測 定 場 所	Bq/L	(av.) Bq/L
岩風呂（浴室）	94.19,　90.35,　91.89	92.1± 1.9
上がり湯（浴室・飲泉所）	3.50	3.50
飲泉（上がり湯浴室内）	4686,　4168	4427 ± 366
内湯（男子浴室）	14.5	14.5

飲泉（含放射能-ナトリウム-塩化物冷鉱泉）は湯小屋の脇の湧出泉を上がり湯浴室内に引き込んである。上がり湯浴槽水は熱水が本館から供給されているため、ラドン濃度は低かったが、常時流れ込んでいる飲泉中のラドン濃度が高い値を示していることから、上がり湯浴室内の空気中ラドン濃度は高い値を示した。

表 2　水中のラドン濃度測定結果

測 定 場 所	Bq/L	(av.) Bq/L
岩風呂（浴室）	94.19,　90.35,　91.89	92.1± 1.9
上がり湯（浴室・飲泉所）	3.50	3.50
飲泉（上がり湯浴室内）	4686,　4168	4427 ± 366
内湯（男子浴室）	14.5	14.5

3.3　岩風呂の一般的な利用方法（湯小屋の利用法）

岩風呂は泉温 18.9℃の冷鉱泉で在るため、主として湯治（湯に浸る）の目的で利用されており、洗い場は利用されていない。利用客によると浴槽内では身体を動かさず、静止状態でじっと浸っているのが最も凌ぎやすく、入浴時間は 15 分が限度とのことである。従って、岩風呂浴室内滞在時間は 20 分程度と見積もった。その後、加温した上がり湯にゆったりと浸り、上がり湯浴室内にある飲泉所でコップ一杯の鉱泉水を飲むと仮定した。ここでも洗い場の利用はほとんどなく、特にその為の設備もされていない。よって上がり湯浴室滞在 30 分、脱衣所滞在 10 分と見積もった。

3.4　内湯の一般的な利用方法（本館の利用方法）

内湯の源泉は本館近くの山裾の掘削自噴泉である。湯は 20m程離れた本館浴室（内湯）に引湯され、浴室には源泉未処理の引湯浴槽（泉温：31.2℃）と水道水の沸かし湯（40℃）の浴槽とが設置されている。内湯の利用方法は浴槽内 20 分、洗い場 20 分、脱衣・休憩所 20 分程度と想定し、浴槽内 20 分滞在はすべて源泉引湯槽に浸るとして計算した。不老閣の内湯の浴槽内、浴室内ラドン濃度は比較的低い値であり、むしろ脱衣・休憩室（マッサージ機設置）の方が高い

値を示した。

4. 被曝線量の算出

4.1 空気中ラドン吸入による被曝線量（浴室内滞在）：実効線量算定式

空気中ラドン吸入による被曝線量Ｄの算出には、国連科学委員会（UNSCEAR）報告[7]で採用されている次式に従った。

$$D = K \cdot T \cdot F \cdot Q \quad [\mathrm{m\,Sv}] \qquad (1)$$

K：線量換算係数　[9×10^{-6} mSv/(Bqh/m^3)]

T：所在係数 X 年間時間（8,760h）：滞在時間　[h]

F：平衡ファクター*　[屋内：0.4、屋外：0.5]

Q：空気中ラドン濃度　[Bq/m^3]

*ラドン崩壊生成核種のラドンに対するポテンシャルαエネルギーの比（UNSCEAR 2001）

増富温泉における湯小屋、内湯の一般的利用方法に従い、各場所それぞれに於ける被曝線量を計算し、その結果を表 3 に示した。同時に国内の平均的日常の生活圏における被曝線量も示した。

表 3 空気中ラドン吸入による被曝線量の計算

場　所		K	T	F	Q	D
		mSv/(Bqh/m^3)	h		Bq/m^3	μSv
湯小屋	岩風呂浴室内	9×10^{-6}	0.33	0.4	370	0.44
	上がり湯浴室内	9×10^{-6}	0.5	0.4	733	1.32
	脱衣場	9×10^{-6}	0.17	0.4	335	0.21
本館	内湯浴室内	9×10^{-6}	0.67	0.4	38.5	0.09
	脱衣・休憩所	9×10^{-6}	0.33	0.4	133	0.16
日常の生活圏（国内平均）		9×10^{-6}	1	0.4	15.5	0.06

4.2 浴槽から空気中へ拡散して来たラドンの吸入による被曝

ラドン濃度の高い湯に浸る場合、浴槽から空気中へ拡散して来たラドンの吸入による被曝も考慮する必要がある。浴槽から空気中へ拡散して来るラドンが寄与する割合を P とすると、それによるある期間の被曝線量 Da [m Sv]は次式で計算される[8]。

$$Da = P \cdot D \quad [\mathrm{m\,Sv}] \qquad (2)$$

D：（1）式に準じて求められる

P：10^{-4}（ラドンが水中から空気中に出て来て寄与する割合）
T：浴槽内滞在時間　[h]

P[8] は水道水使用の際に、水道水から空気中に出て来るラドンによる寄与の割合として与えられているが、その値を温泉の場合にも流用した。

表 4　浴槽から空気中へ拡散して来たラドンの吸入による被曝線量の計算

場　所	浴槽中のラドン濃度	T	P	K	F	Da
	Bq/L	h		mSv/(Bqh/m^3)		μSv
岩風呂	92.1	0.25	10^{-4}	9×10^{-6}	0.4	0.0083
上がり湯	3.5	0.33	10^{-4}	9×10^{-6}	0.4	0.0004
内湯	14.5	0.33	10^{-4}	9×10^{-6}	0.4	0.0017

通常水中のラドンの多くは湧出時、加温の際等に空気中へ拡散してしまううえに、入浴の際浴槽から空気中へ拡散して来たラドンの吸入による寄与の割合が小さいため被曝線量は～3 桁低い値を示し、殆ど関与がないと言える。

4.3　ラドン水飲用による経口摂取被曝

放射能泉には飲泉所が設けられているところが多く、湯治客は 1 日コップ一杯を目処に飲む傾向にある。

ラドン水の飲用による経口摂取による被曝線量の算出にはある期間（通常は一年間）ラドン水を飲用した時の被曝線量 Dw を評価する式として次式が提唱されている [8]。

$$Dw = Kw \cdot W \cdot Qw \quad [\mathrm{m\,Sv}] \qquad (3)$$

Kw　：飲用の場合の線量換算係数　[3.5×10^{-6}m Sv/(Bqh/m^3)]
W　：ある期間（一年間など）の水摂取量　[m^3/ y]
Qw　：飲用水中のラドン濃度　[Bq/m^3]

表 5　コップ一杯のラドン水飲用による経口摂取被曝線量の計算

場　所	Kw	W	Qw	Dw
	mSv/(Bqh/m^3)	m^3/ y	Bq/m^3	μSv
飲　泉　所	3.5×10^{-6}	180ml	4427	2.7

以上の結果から、飲泉所でコップ一杯のラドン水を飲んだ場合が最も高い被曝線量を示した。

5. 結果及び考察

湯小屋および内湯に 1 時間滞在するとどの位の被曝線量になるか、またそれが日本人と世界人口の平均の人々が日常の生活圏にいる場合との値を計算し表 6 にまとめた。

表 6　被曝線量の比較（滞在時間 1 時間）

滞在場所（h）	湯小屋	内湯	日常の生活圏	
			日本人平均	世界人口平均
被曝線量（μSv）	1.97	0.25	0.06	0.14
比（世界人口を基準）	14.1	1.79	0.43	1

内湯の場合には日本人平均の人々が日常の生活圏にいる場合の約 4 倍、世界人口の平均の人々の 1.8 倍の被曝線量であり、湯小屋を利用すると、日本人の 32.8 倍、世界人口の約 14 倍の被曝線量になることがわかった。

次に放射能泉に一日滞在した場合の被曝線量と私たちが日常生活の中で受けることの多い医療被曝における実効線量との比較を行ってみた。胸部 X 線撮影は学校や職場での年に 1 回の集団検診、胃部 X 線撮影も 40 歳以上の人が受けることが多い集団検診時の値である。また、同時に近年画像処理技術が進歩し、今まで分かり難かった病気の診断に大活躍をしている、コンピュータ断層撮影（Computed Tomography：CT）の値も参考として示した。

表 7　医療被曝における実効線量 [9] との比較（μSv）

放射能泉一日滞在	X 線診断の種類（1 件当たりの線量）			
	胸部（集団）	胃部（集団）	歯科	CT
12.8*（15.5**）	50	600	30	8,250

*湯小屋滞在 1 h、内湯滞在 1 h、内湯脱衣・休憩所と同等の客室滞在 22 h

**放射能泉に一日滞在し、温泉水をコップ 1 杯飲用

放射能という言葉から敬遠されがちな強放射能泉地域の滞在であっても、通常義務として気軽に受けている胸部 X 線撮影の 1/4、放射能泉に一日滞在し、温泉水をコップ 1 杯飲用した場合には、胸部 X 線撮影の 1/3 と算出された。

ラドンは地球上何処にでも存在するが常にその濃度は常に変化して居り、測定する時間によ

り、季節により、場所により、流動的である。従ってここで使用した測定値も単に調査時の値を示しているに過ぎず、この値を一般化することは出来ない。しかし、湯治などで放射能泉に何日か滞在するとき、どの位の被曝線量になるのか、普段の生活とどの位違うのかを考えたいときの一つの目安にはなるであろう。

6. 参考文献

1) 環境省ホームページ：http://www.env.go.jp/nature/onsen/riyou_zititai18.pdf
2) 金原啓司：日本温泉・鉱泉分布図及び一覧、地質調査所　（1992）
3) 下　道国、小柳津東、床次真司、北村香織、江尻和隆、南　一幸：岐阜県の一温泉施設のラドン濃度と被曝線量試算、温泉科学、55、No.4,　177-187　（2006）
4) Kessler MJ.　: Analysis of Radon in Air and Water, "The　2 nd Int. Seminar for LS Analysis Proc." (June 8-9, 1988, Tokyo),　p43-67　(1988)
5) ラドン濃度測定・線量評価委員会：（1997）NIRS-R-32　ラドン濃度全国調査最終報告書，平成 4 年度～平成 8 年度屋内ラドン濃度全国調査，放射線医学総合研究所
6) 堀内公子、村上悠紀雄：温泉工学会誌、13　No.2　95-103　（1978）
7) UNSCEAR 1982 Report, United Nations, New York(1982)
8) Brord on Radiation Effects Research (BRER;1999)：Risk Assessment of Radon in Drinking Water, CLS/NRC Report, National Academy Press.
9) 日本アイソトープ協会：アイソトープ手帳、（2001）

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 11, No. 1, p. 41 - 52 (2007)

新設なった青森支部
2007年度の活動と反省の記録

笹川澄子
NPO法人放射線教育フォーラム青森支部
〒033-0023 三沢市下久保1-3-6-C
(2008年1月29日受理)

[要約] 新設なった青森支部は設立記念セミナーと第2回セミナーを開催した。その概要を述べる。またセミナー参加者アンケートの分析結果から，人々の発意・発露を促し双方向コミュニケーションを図ることが大切であること，そのためにはどうしたらよいかという方法論が課題となること等が浮かび上がった。

1. はじめに

NPO法人放射線教育フォーラム青森支部は，千葉支部に続く2番目の支部として，関係各位のご理解ご支援を賜り今年度設立がかなった。そして，7月14日に設立記念セミナー，11月10日に第2回セミナーを六ヶ所村で開催した。本稿は青森支部の主要な活動に据えているセミナー開催の結果を報告するものである。

青森県では，下北半島の付け根に位置する六ヶ所村で原子燃料サイクル施設が建設され，現在，その要の再処理工場は本格操業に向けて試運転を実施中である。東通村では東北電力（株）東通原子力発電所1号機が運転中，むつ市では東京電力（株）の使用済み核燃料中間貯蔵施設が建設計画中，さらに津軽海峡を臨む大間町では電源開発(株)の大間原子力発電所が建設準備中であり，さながら原子力県原子力半島の様相を呈しつつある。

このような状況にあって，地元住民，専門家（含事業者），自治体首長，行政担当者等々の原子力や放射線に関する知識のさらなる蓄積，また，原子力政策に対する理解を深める必要が強く叫ばれ，そのために，住民と専門家が膝を交えて意思疎通を図ることが緊急に求められている。

この背景のもと，フォーラムが有する人材と経験を原子力施設立地地域の社会教育／生涯学習に生かすという新しい役割が認識され，県内在住のフォーラム会員を中心とした支部を設立しようという機運が生じてきた。

2006年度，青森支部設立準備デスクを設け，六ヶ所村を拠点として準備セミナーを2回開催した[1, 2]。2007年度，青森支部はこの準備活動を経て設立された。支部は本部と密接に連携しながらの活動によって，様々な職種で活躍する地元住民をはじめ多くの方々と共に，遍く住民の関心事を考え理解を深め，とりわけ原子力や放射線に関しては，住民の日常生活の中に安全安心が醸成されていくことを目指している[3]。

しかし，意思疎通の手段としてセミナーを開催し，地元住民の方々に何かしら役立つ情報を提供したいと考えても，その地域特有の事情，例えば，公共交通機関の便や気候風土などの影

響を受け，容易には実現できないこともある。そのため，相当の努力と工夫が主催者には求められ，青森支部においてはなおさらである。どんな工夫を凝らすべきか，地元の方々が考えておられることや興味の対象等を何らかの手段を講じ可能な限り把握することも必須要件になるのである[4, 5]。

ここでは初年度に開催した 2 回のセミナーの概要と，参加者に回答いただいたアンケートの分析結果とそこから浮かび上がってきた課題や反省点を記述する。アンケート用紙は資料 1 および 2 に示すとおりである。

2. 結果と考察

1) 支部の陣容

青森支部は支部友制度をとっている。セミナー参加者から年会費に相当する参加費 500 円を負担いただき，自動的にその年度有効の個人支部友となっていただく。また，セミナーに協賛・協力いただいた事業体の方々はその年度有効の団体支部友になっていただく。負担いただいた会費は支部活動を支える資金として事務通信費や文房具購入費などに充当している。支部の構成は個人支部友や団体支部友の他に，支部長 1 名，支部事務局長 1 名，そしてその時々に必要に応じて作業をする支部幹事数名をおいている。支部 HP も参照されたい（http://www.jomon.ne.jp/~ssgw/）。

2) 設立記念（第 1 回）セミナーの概要[6)]

日　　　時：2007 年 7 月 14 日（土）14:00～16:00
場　　　所：（財）原子力安全技術センター防災技術センター研修室*1
テ　ー　マ：原子力・放射線と芸術の融合
参　加　者：約 45 名
プログラム：プロローグ「芸術との融合」
　　　　講演の部：基調講演「放射線教育を語る」（松浦辰男博士）
　　　　　　　　　特別講演「わが人生を語る・六ヶ所村への期待を語る」（有馬朗人博士）
　　　　討論の部：参加者全員による討論

*1　青森県六ヶ所村に設置された原子力防災研究プラザの 1 階にある研修室。原子力防災研究プラザ 2 階は六ヶ所オフサイトセンター（緊急事態応急対策拠点施設）となっており，経済産業省原子力安全・保安院の六ヶ所原子力保安検査官事務所と原子力防災専門官事務室，文部科学省の原子力防災専門官事務室がある。1 階に（財）原子力安全技術センターの防災技術センターがある。

セミナーは，テーマに掲げた「原子力・放射線と芸術の融合」を具現化すべく，支部長のピアノ，支部友の琴，そして支部事務局長のチェロによる三重奏（演奏曲目「さくら」　小六礼次郎作曲・内田勝彦編曲，「浜辺の歌」成田為三作曲・内田勝彦編曲）のプロローグで始まった。支部長挨拶に次いで，来賓としておいで頂いた六ヶ所村・古川健治村長，経済産業省原子力安全・保安院六ヶ所原子力保安検査官事務所・海老根強所長，そして原子力安全技術センター防災技術センター・山崎仁センター長にご挨拶をいただいた。講演の部では，支部設立を記念して，本フォーラム会長の有馬朗人博士と理事・事務局長の松浦辰男博士にお出まし頂いた。

まず、松浦辰男博士に基調講演として「放射線教育を語る」をご講演いただいた。博士は，本論用のパワーポイント以外に，セミナーのテーマに合わせた OHP を用意され，ご自身の若い頃，「君たちはどう生きるか」（吉野源三郎著，岩波書店）によって正義感を植え付けられたこと，また，出身中学校（旧制）の先輩で画家の小磯良平を示しつつ，教育には理屈だけでなく感性や人間的な深みが大事なことを知ったと講演された。

続いて、有馬朗人博士に特別講演として「わが人生を語る・六ヶ所村への期待を語る」をご講演いただいた。博士は「わが人生を語るにはまだ若い」と前置きされて，中央教育審議会会長や元文部大臣として取り組まれた「日本の教育」の問題点を具体的な調査結果を示してわかりやすく講演された。また六ヶ所村への期待を語る部分については，まさに大臣時代に関わってこられ，六ヶ所村に建設されることになった国家的事業の ITER（国際熱核融合実験炉）関連施設に言及された。参加者全員による討論の部では，両博士に対して終了予定時刻を超えて活発な質疑応答がなされた。

アンケート（資料 1）に関して，後で悔やまれたことであるが，提出を促すことを忘れたため，回収数は 20 枚と期待を下回ってしまった。集計結果は次のようである。男女比は 1 対 3 であった。居住地（図 1）は六ヶ所村をはじめ三沢市，むつ市，十和田市，おいらせ町，青森市，八戸市，五所川原市に及んだ。県外からの参加者もあった。年代分布（図 2）では，50 代以上の比較的高齢者が多かった。セミナー情報の入手方法（図 3-1）は，「チラシ」が大部分であった。「チラシ」は支部が草の根的に配布したものである。「新聞」は数%あった。「新聞」というのは，県内に配布されている新聞*2 のうち朝日新聞，東奥日報およびデーリー東北の催し物欄から情報を得たというものである。また地元六ヶ所村が発行する「広報ろっかしょ」2007 年 7 月号にも掲載されたが，ここから情報を得たという回答はなかった。

個別設問（図 4）について，セミナー開催の日時や場所の設定は概ね好評であった。ただ，大都会と違い公共交通機関が貧弱な当地にあっては，距離の遠さや足の不便さが決定的な不利になることは避けられない（表 1）。参加費 500 円やそれに見合っただけのことはあったかという問いは，主催者の杞憂を打ち払う回答であった。当日音合わせのプロローグや 2 つの講演に対しても良い評価をいただいた。次回セミナーへの参加の意向（図 6）も「ぜひ」と「できれば」を合計して約 80%が得られた。

自由記述（表 1）にあるように，講演はもっと長くて良かったとか，討論をもっとやりたかったなどは嬉しい誤算であろう。一方，事務局が反省し改善すべき点も指摘されており，手薄な事務局を支援する支部友が多数参加してくれることで解決されることも多いのではないかと考えている。

*2　朝日新聞，読売新聞，毎日新聞，東奥日報，デーリー東北に掲載を依頼。そのうち朝日新聞，東奥日報，デーリー東北に掲載された。陸奥新報には掲載依頼せず。

3）第 2 回セミナーの概要 7)（今回から「あおもり県民カレッジ」認定講座*3）

日　　　時：2007 年 11 月 10 日（土）14:00～16:00
場　　　所：（財）原子力安全技術センター防災技術センター研修室*1
テ　ー　マ：ラドン温泉～成分から効能まで～
参　加　者：約 25 名
プログラム：講演の部：「ラドン温泉～成分から効能まで～」（堀内公子博士）

実験の部：放射線測定実験
討論の部：参加者全員による討論

*3　誰でも・いつでも入学できる「生涯学習の学園」として 1997 年に開設された（青森県事業）。学びたいという意志を唯一の入学資格とする生涯学習の学園である（講座・講演会ガイドブック「学遊ぶトピアあおもり 2007」，編集・発行：青森県総合社会教育センターあおもり県民カレッジ事務局）。事務局は青森県総合社会教育センター内。認定講座は，県，市町村，高等教育機関，民間企業，NPO 団体などが連携機関となって県民カレッジ単位認定講座として実施している講座で，多岐の分野にわたって多種多彩な講座がある。学生は自身の生活様式に合わせて単位を取得でき，取得単位数によって認定証や奨励証が県知事から授与される。

支部長挨拶，来賓挨拶に続いて，講演の部に入り，堀内公子博士（大妻女子大学教授，本フォーラム理事）にご講演いただいた。よく見聞きするが「ラドン温泉」とは何か？温泉好きの人々には癒しや健康維持の場になるであろうラドン温泉の実態や表示成分を理解することはそう易しくはなさそうである。温泉の定義から始まってラドンの起源から行く末に至るまで，わかりやすく講演された。また，日本のラドン温泉にとどまらず世界の有名ラドン温泉や，古今東西に共通する人々の関心も示された。人工ラドン温泉に関心がある方もおられ，職業柄強い関心をお持ちの参加者だと後で知った（表 2）。

実験の部では，「はかるくん」を使って放射線を測った。測定対象の身の回りのものは，主催者が用意したものに加えて，参加者が持参したものであった。興味深そうに測定が続いた。セミナー終了時刻ぎりぎりまで測定しながら討論の部に入り，質疑応答が続いた。講演聴講に加えて，討論したり実験・実技や計算など何かしら四肢を動かす機会の設定は，関心事が新鮮に記憶されたり深く理解されるようで，好評であった。

設立記念セミナーでの反省を踏まえ，アンケート（資料 2）の記述提出を促した結果，今回の回収数は 20 枚（25 人中）となった。集計結果は次のようである。男女比は設立記念セミナーと同様で，1 対 3 であった。居住地（図 1）は六ヶ所村をはじめ三沢市，むつ市，青森市，八戸市であった。年代分布（図 2）では，30 代から 70 代以上にわたっていた。セミナー情報の入手方法（図 3-2）は，設立記念セミナーでは圧倒的に多かった「チラシ」よりも「クチコミ」が多かった。今回も「チラシ」を草の根的に配布したので，それをもって「クチコミ」と判断された可能性も考えられる。いずれにしても，草の根的な周知や face to face が大切であることが強く示唆された。「新聞」は数％あった。今回のセミナー開催は朝日新聞とデーリー東北の催し物欄に掲載され，これらの記事から情報を得たというものである。地元六ヶ所村発行の「広報ろっかしょ」2007 年 11 月号にも掲載され，ここから情報を得た人もいた。

個別設問（図 5）について，設立記念セミナーと同様に，開催の日時や場所の設定，そして参加費 500 円とそれに見合っただけのことはあったかという問いは，いずれも概ね好評であった。測定実験もまずまず好評であった。測定試料を持参したかという問いには，持参した 5 名，持参せず 11 名，測ってみたいもの無し 2 名，その他・無回答 2 名であった。測定に熱中したために，参加者全員による討論は時間不足で十分にはできなかったと指摘する自由記述が多かった。主催者は時間配分などに注意を払う必要があると反省されられた。次回セミナーへの参加の意向（図 6）は，「ぜひ」と「できれば」を合計して先回と同様に約 80％が得られ，安堵している。

自由記述（表 2）から，ラドン温泉やラドンを改めて知った方々や放射性壊変の意味を理解された方がおられたことがわかる。主催者としても改めて驚いた。人工ラドン温泉への関心を

お持ちの方の存在は，温泉好きの国民性を示しているといえよう。また，青森支部のセミナーを別の場所でも開催して欲しいなどという要望は，主催者を喜ばすものであった。今後の希望テーマで，疲弊している地方を活性化する方法にまで言及があった。これも今後多いに取り入れるべきであろう。また，このような自由記述こそ，後述の人々の「ボトムアップ」「アイデンティティの発露」[8]そのものではないかと思われた。

著者は，勤務する研究所の普及活動事業を通じて，住民と専門家が膝を交えて交流することの大切さと難しさを痛感し，手をこまねいているだけでなく，よりよい交流方法を探る努力が両者に必要であると感じてきた[4, 5, 8-14]。そこで，第2回セミナーから青森県が実施している，あおもり県民カレッジの単位認定講座となった。青森支部のセミナーを単位獲得に役立てることで，主催者，参加者双方の便益を図るのもその方法の一つであろう。

原子力教育・PA（Public acceptance）の役割の一つは，自ら考え始めた人々（＝公衆）の多様な興味や疑問に学際的科学の視点から助言し，彼らの思考を助けることであろう。つまり，「トップダウン」ではなく，人々の意志に基づく「ボトムアップ」を第一義に考えることを忘れてはならない[4, 5, 8-12, 14, 15]。しかし，「ボトムアップ」や「アイデンティティの発露」を理解することそのものが，実は難しい[10-12]。「する側」に属する担当者や専門家の意欲も問題となる。「する側」が当該課題に自主的に対応でき，そこに生き甲斐や生きる喜びを感じることができて，初めて社会への還元もできるのである[8, 10-12, 14-16]。

叫ばれて久しいリスクコミュニケーションは，最近さらに声高に叫ばれていると感ずる。しかし，科学技術の理解浸透に関して，「教えを垂れるやり方には逆効果も」「一分野の専門家は他分野の非専門家」「マインドが大事」などと記されているように[17]，必ずしもコミュニケーションがうまく図られているわけではない。前述の「トップダウン」「ボトムアップ」でも触れたように，幸いにも著者は，「する側」は「される側」の目線を共有し心のひだに触れ耳を傾けようやくボトムアップを促すことができる，と実感する経験を度々した[9-11, 13, 14, 16]。アンケートの次回セミナーへの参加の意向で見る限り，地の利の悪さを考慮すれば，ボトムアップは多少なりとも促すことができたようで，及ばずながら，それらを支部運営に生かして行きたいと考えている。

青森支部の活動拠点地においては，便利な公共交通機関はなく，地の利の悪さは否めない。その事例を記述したい。第2回セミナー参加者の中に八戸市の方がおられた。前もっての電話問い合わせで，「ラドン温泉」の話はぜひ聞きたいが車の運転ができないため八戸から六ヶ所まで行けない，ということであった。そこで，事務局所在地に最も近いJR三沢駅まで来て頂き，事務局の車に主賓とともに六ヶ所村の会場まで同道する便を図った。この方にはセミナーの内容も含めて大変満足していただいた。帰路はたまたま八戸までの別便を用意でき，幸いであった。設立記念セミナーの時も，足の便を調達出来ないため参加を断念したという三沢市在住の年輩女性が数人おられた。このように，公共交通機関が高度に発達した大都市やその周辺地域とは違い，平たく言えば「アッシー君」が必需なのである。

セミナー周知について，事務局としては可能な限りの手段を講じているつもりである。例えば，2回のセミナーは，六ヶ所村全戸に配布される「広報ろっかしょ」（六ヶ所村役場発行）に掲載した。しかし，「広報ろっかしょ」から情報を得たという回答は少なかった。全県的な周知として，全国紙の朝日，毎日，読売，地方紙の東奥日報，デーリー東北の催し物欄に掲載を依頼した。その結果，設立記念セミナーは朝日，東奥日報，デーリー東北に，第2回セミナー

は朝日とデーリー東北に掲載された。しかし，新聞から情報を得た人も少なかった。新聞で知っても時間的な都合や興味の程度が参加不参加を決めるであろうし，人口密度等を考慮すればこの程度なのかも知れない。一方，事務局作成のチラシやクチコミで知って参加したという割合は相対的に多くなった。事務局から直接誘われたり，有力者や知人から誘われたりすると興味が沸いてくる可能性がある。つまり，草の根的な周知が決定権をもつと考えられるのである。青森支部にあっては，この草の根的な活動や地元の方々との繋がりこそが大切で，これこそが双方向のコミュニケーションを可能とするものであろう。双方向コミュニケーションの成立を目指す社会実験の場[18]でもある青森支部としては，今後とも地道に構築していきたいと願っている。第 2 回セミナーからあおもり県民カレッジ認定講座となった。あおもり県民カレッジ事務局は広報誌「生涯学習フェア 2007」を全県的に発行配布し，連携機関協賛事業を案内しており，第 2 回セミナーはその 11 月分に掲載された。また，六ヶ所村在住の学生 14 名に葉書案内を出したところ，反応率は，2 名は宛先不明，残り 12 名中 1 名参加であった。今後は，支部財政の許す限り葉書案内を増やしたいと考えている。

青森支部の活動の中心はセミナー形式の勉強会で，目指すところは双方向コミュニケーションの「サイエンスカフェ」[17]である。人々の発意・発露を促し芸術や文学などとも交流を図ることによって，自然な形で科学技術情報に親しんでいこうというものである。その上に立ってようやく原子力・放射線に関する教育や PA が成立するのである。

セミナー開催に当たっては，前年度の準備デスク時代の経験を踏まえてテーマ設定や周知を行った。しかし，事務局の力量不足は否めず，関係者にご迷惑をおかけしたところもあったと思っている。一方，暖かい支援もたくさんいただいた。この場をかりてご講演いただいた先生方や関係各位に謝意を表したい。また，手薄な事務局を担うフォーラム会員や支部友が出てくれることを心より願っている。

引用文献

1) 青森支部設立準備セミナー（2006 年 9 月 23 日開催）要旨集「放射線防護を考える」
2) 青森支部設立準備セミナー（2006 年 11 月 19 日開催）要旨集「環境管理を視て学ぶ」
3) 笹川澄子，放射線教育フォーラムニュースレターNo. 36，2006 年 11 月号 6 頁
4) 笹川澄子：未発表データ
5) 笹川澄子　放射線教育フォーラム 2005 年度第 3 回勉強会（2006 年 3 月 12 日）配付資料，ニュースレターNo. 34，2006 年 3 月号 9 頁　講演 4 の要旨「人々が求める科学技術に関する知識・情報を探る」
6) 青森支部設立記念セミナー要旨集
7) 青森支部第 2 回セミナー要旨集
8) 笹川澄子，原子力時代に期待される教育・PA，放射線教育 3：43-50（1999）
9) 笹川澄子，ノーベル賞物語：やさしい科学リテラシーをめざして，Ann Soc Jap Women Sci（日本女性科学者の会年報）3:56-60（2002）
10) 笹川澄子，原子力の安全と安心を結ぶ理解活動を考える，放射線教育　8：31-38，2004
11) 笹川澄子，石川敏夫，濱田栄作，蝦名俊彦，小山兼二，環境科学技術研究所の普及活動「住民・専門家対話集会（通称　出前講演会）」，日本保健物理学会第 39 回研究発表会要旨集 163（2005）

12) 笹川澄子，普及活動「住民・専門家対話集会（通称　出前講演会）」に対する評価・成績表，日本保健物理学会第 39 回研究発表会要旨集 104（2005）
13) 笹川澄子，ノーベル賞をもらった女性たちー男女共同参画の視点からー，Ann Soc Jap Women Sci （日本女性科学者の会年報）6:39-45（2005）
14) 柳澤和章，笹川澄子，中野光士，サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト（SPP）における放射線教育とその成果，放射線教育 10：23-48（2006）
15) 笹川澄子，放射線教育フォーラムは何処から来たのか　放射線教育フォーラムは何者なのか，放射線教育フォーラムは何処へ行くのか，放射線教育 4：26-31（2000）
16) 青少年科学セミナー，科学の祭典およびサイエンスフェア実験解説集*4
17) 渡辺政隆，科学技術コミュニケーションどう図るか，一方通行の時代から双方向の時代へ，科学技術ジャーナル　2005 年 4 月号 20-21
18) 笹川澄子，松浦辰男，放射線教育フォーラム青森支部は一般社会人を対象とした理解促進活動の社会実験の場，第 44 回アイソトープ・放射線研究発表会要旨集 127（2007）

*4　16-1）笹川澄子：身近なサイエンス・シャボン玉で遊ぼう，平成 11 年度あおもり青少年科学セミナー実行委員会編集・発行「’99 あおもり青少年科学セミナー実験解説集」29 頁（1999），16-2）笹川澄子，内田勝彦，池田真理子：やよいの土笛『オカリナ』を作ろう，青少年のための科学の祭典 2000 八戸大会実行委員会編集・あおもり青少年科学セミナー実行委員会発行「あおもり青少年科学セミナー／青少年のための科学の祭典 2000 八戸大会実験解説集」73 頁(2000)，16-3) 笹川澄子，内田勝彦：科学と芸術の融合　親子演奏会ーおもちゃの交響曲，青少年のための科学の祭典 2000 八戸大会実行委員会編集・あおもり青少年科学セミナー実行委員会発行「あおもり青少年科学セミナー兼青少年のための科学の祭典 2000 八戸大会実験解説集」101 頁（2000），16-4）笹川澄子：おし葉をつくろう　植物標本の作り方，第 1 回北東北青少年科学セミナー実行委員会編集・発行「第 1 回北東北青少年科学セミナーあおもり青少年科学セミナー2001 弘前大会実験解説集」84 頁（2002），16-5）笹川澄子，野坂幸子，川上トセ：おし葉をつくろう　植物標本の作り方，平成 14 年度あおもり青少年科学セミナー実行委員会編集・発行「あおもり青少年科学セミナー2002 むつ大会実験解説集」30 頁（2002），16-6）笹川澄子，濱田栄作，高畠貴志，佐治久子：科学・技術・芸術の融合をめざしてーオカリナを作ろう，青少年のための科学の祭典 2002 青森県三沢市・東北町大会実行委員会編集・（財）日本科学技術振興財団科学技術館発行「青少年のための科学の祭典 2002 青森県三沢市・東北町大会実験解説集」3 頁（2002），16-7）笹川澄子，本田剛，津賀正一：博物学にしたしむ・植物標本の作り方ーおし葉をつくろう，青少年のための科学の祭典 2002 青森県三沢市・東北町大会実行委員会編集・（財）日本科学技術振興財団科学技術館発行「青少年のための科学の祭典 2002 青森県三沢市・東北町大会実験解説集」4 頁（2002），16-8）笹川澄子，川上トセ：博物学への誘い　植物標本をつくる，サイエンスフェア 2003 in AOMORI 実行委員会編集・発行「サイエンスフェア 2003 in AOMORI 実験解説集」23 頁（2003），16-9）笹川澄子，伊藤夏子，伊藤悦美：博物学への誘い　おし葉をつくろう，サイエンスフェア 2003 in AOMORI 実行委員会編集・発行「サイエンスフェア 2003 in AOMORI 実験解説集」77 頁（2003），16-10）笹川澄子，川上トセ，三星光代，伊藤夏子，岡山せつ，土田秀子，松本とし：自然を学ぶー植物標本（おしば）つくり，サイエンスフェア 2004 in HACHINOHE 実行委員会／青少年のための科学の祭典 2004 八戸大会実行委員会編集・サイエンスフェア 2004 in HACHINOHE 実行委員会発行「サイエンスフェア 2004 in HACHINOHE／青少年のための科学の祭典 2004 八戸大会実験解説集」78 頁（2004），16-11）笹川澄子，伊藤夏子，岡山せつ，松本とし，三星光代：くすりになる草花（薬草）のおはなし，サイエンスフェア 2005 in HIROSAKI 実行委員会編集・発行「サイエンスフェア 2005 in HIROSAKI 実験解説集」18 頁（2005），16-12）笹川澄子，三星光代，野坂幸子，伊藤夏子，岡山せつ，木村慶子，松本とし：くすりになる草花（薬草），サイエンスフェア 2006 in TOWADA 実行委員会編集・発行「サイエンスフェア 2006 in TOWADA 実験解説集」36 頁（2006），16-13）笹川澄子，三星光代，野坂幸子，伊藤夏子，岡山せつ，木村慶子，松本とし，土田秀子：薬草・毒草・野菜の花ーおしば（植物標本）を作ろう，サイエンスフェア 2007 in AOMORI 実行委員会編集・発行「サイエンスフェア 2007 in AOMORI 実験解説集」36 頁（2007）

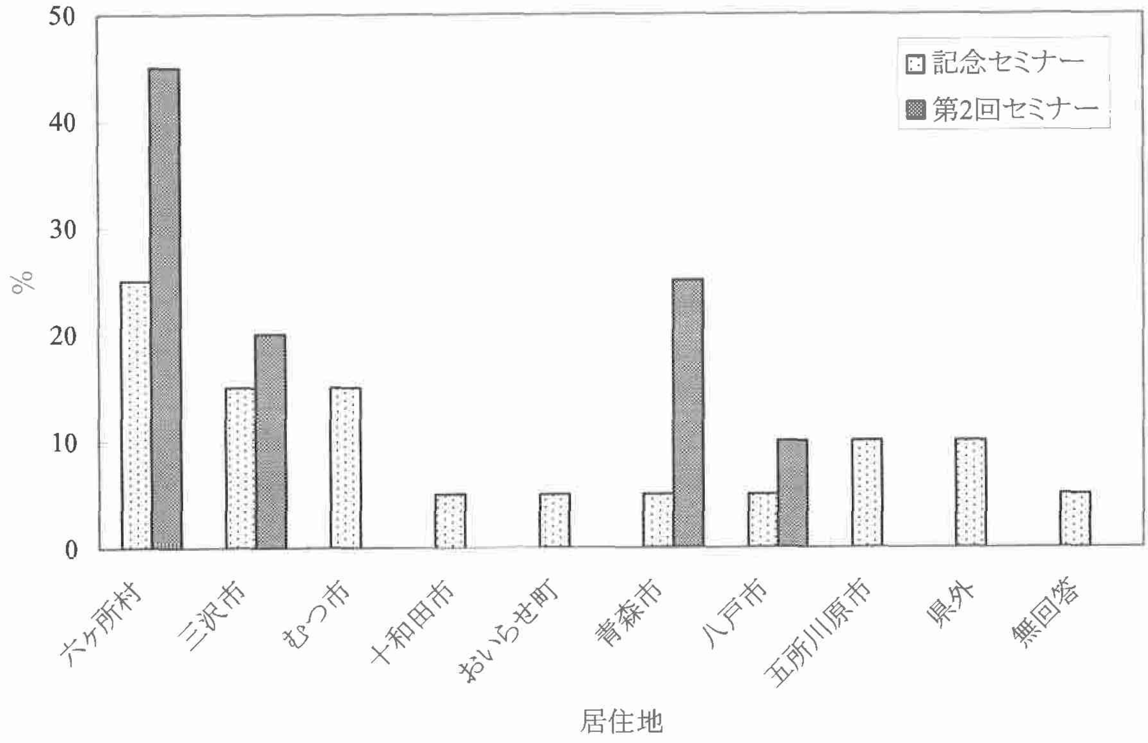


図 1.　設立記念セミナーおよび第 2 回セミナー参加者の居住地分布

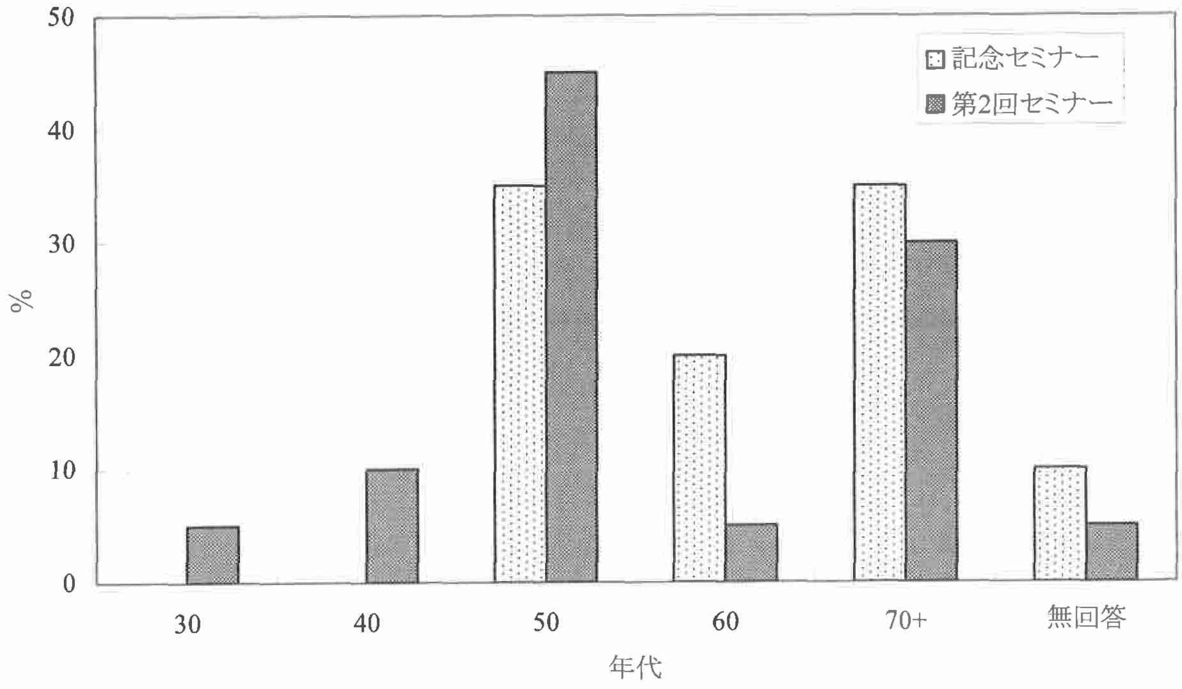
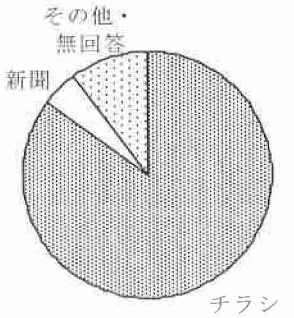


図 2.　設立記念セミナーおよび第 2 回セミナー参加者の年代分布



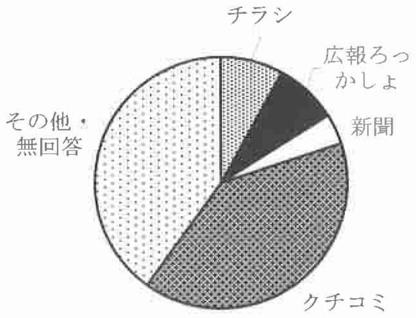


図 3. 1.　設立記念セミナー情報入手の分布

図 3. 2.　第 2 回セミナー情報入手の分布

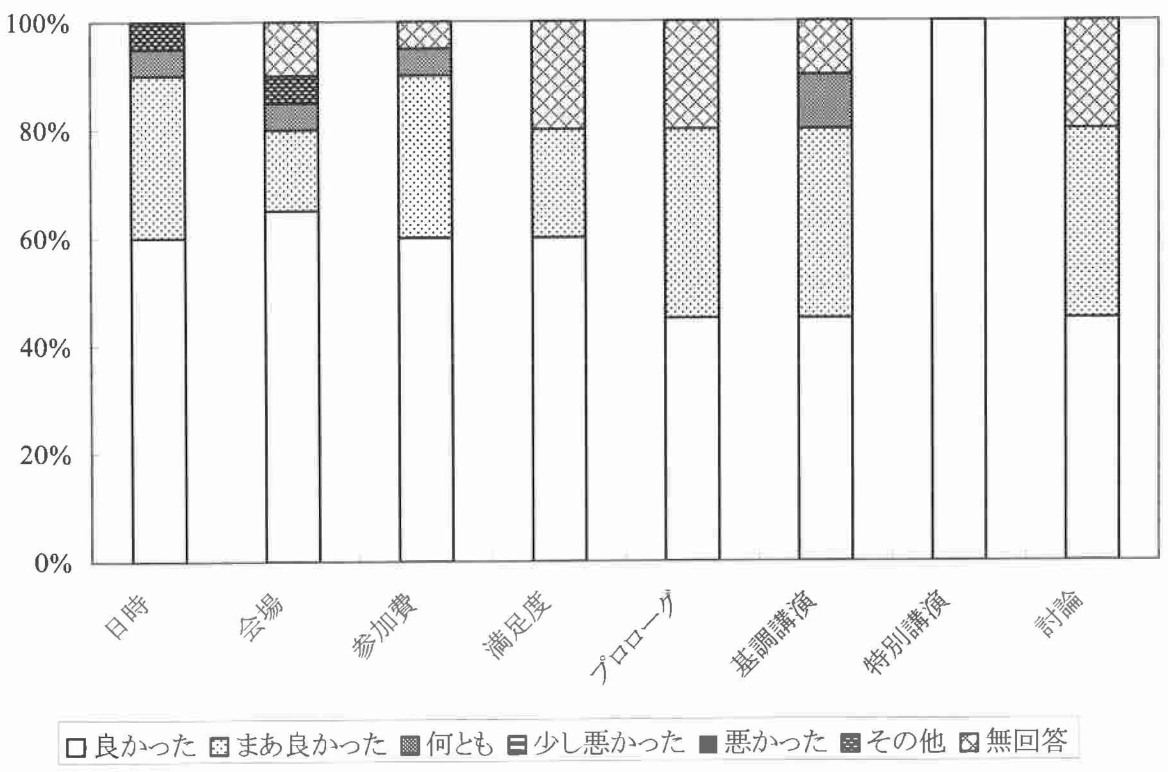


図 4.　設立記念セミナーアンケートの回答

表 1.　設立記念セミナーアンケートの自由記述欄（意見・感想，今後の希望テーマ）

【自由記述】
とても役立つセミナーだと強く思った
久しぶりに感動を覚えた
もっと多数の参加があればよいのに
参加人数が少なめ
美しくレベルの高い最高のフォーラム
参加者に対して飲み物サービスなどの配慮が少し欲しい
事前の実行委員会は？
やはり「融合」は「分裂」より強かった（プロローグに対して）
時間が足りなかった（基調講演に対して）
時間が足りなかった（特別講演に対して）
せっかくの機会なのでもう少し時間をとって欲しかった
立派な講師の講演で勉強ができて良かった
少し早口で聞き取りにくかった（基調講演に対して）
朝日新聞の読者だが学力について本当のことを分かりやすく話してくれて良かった
学力の事が一番良かった（特別講演に対して）
今日参加できて感謝
当日の交通事情・天候による（次回の参加に対して）
タイトルのテーマが良く素直に話を聞くことが出来た
基調講演も特別講演も素晴らしかった
日本の教育・学力は興味深かった（特別講演に対して）
遠かった（会場に対して）
新聞などにお知らせがあって良かった
地元の方々が勉強する意欲を自発的に持ってくれると良い
教育現場からの参加者があったがその意義は大きく心強く思われた
時間が足りない（討論に対して）
【今後の希望テーマ】
最終処分場について（取り組みの方法論など）
高校教師（大畑高校・坂本教諭）の体験話

表 2.　第 2 回セミナーアンケートの自由記述欄（意見・感想，今後の希望テーマ）。カッコ内の数字は件数。

【自由記述】
討論時間が足りなかった（4）
青森市でも開催して欲しい（2）
ラドンが鉄腕アトムの妹ウランちゃんの６代後の放蕩娘だと分かり面白かった
自分たちのサークルでも放射線測定をして欲しい
ラドンは身近な温泉で体によいということで、今後はゆったりとした気持ちで入浴したい
この種のセミナーはもっとやって欲しい（2）
我々が健康で文化的な生活を送るには自分で努力して必要な勉強をすべき
大変勉強になった
ありがとうございました
人工ラドン温泉に関心がある人がいることが興味深かった
【今後の希望テーマ】
今回の話（身近な放射線-食べ物、温泉-）に類したものをまた考えて欲しい
放射線で町おこし

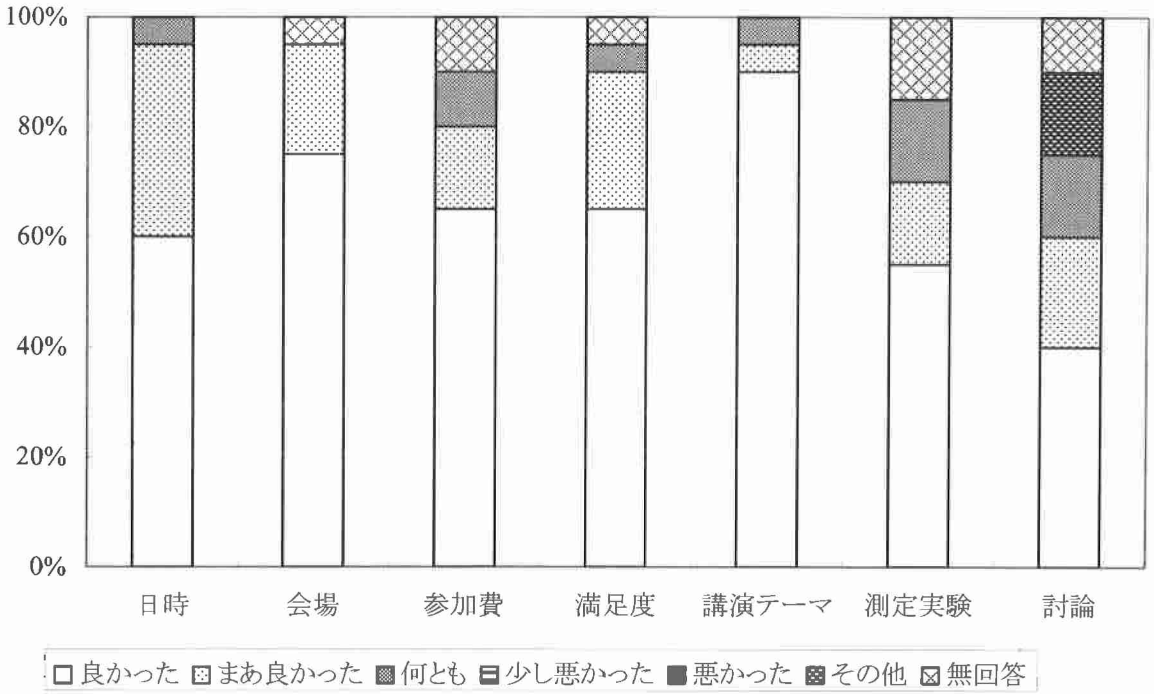


図 5.　第 2 回セミナーアンケートの回答

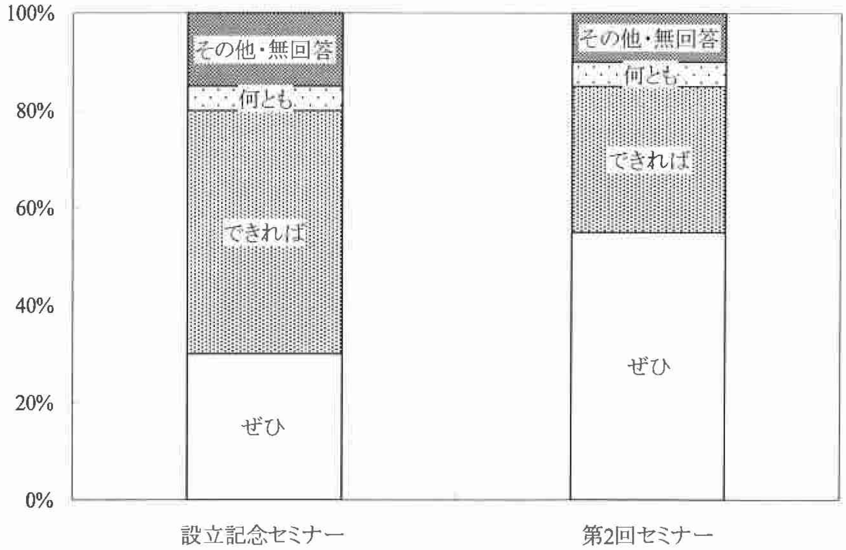


図 6.　設立記念セミナーおよび第 2 回セミナーアンケートの回答。次回セミナーへの参加の意向

資料1.　設立記念セミナーアンケート用紙

皆様へアンケートのお願い　　2007年7月14日
今後のセミナーをより良くするために、皆様のご意見をお聞かせください。

本日のテーマ　原子力・放射線と芸術の融合
年齢：　性別：　男　女　お住まいの市町村：　職業：

1. 本日のセミナーの情報は何から得られましたか？
①チラシ　②広報ろっかしょ　③クチコミ　④新聞（新聞名　⑤その他（具体的に

2. 日時（の設定）はいかがでしたか？
①良かった　②まあ良かった　③何とも　④少し悪かった　⑤悪かった
⑥その他（具体的に

3. 会場（の選定）はいかがでしたか？
①良かった　②まあ良かった　③何とも　④少し悪かった　⑤悪かった
⑥その他（具体的に

4. 参加費をいただきましたが、いかが思われましたか？（NPOは活動資金が乏しいが）
①当然　②まあ当然　③何とも　④ない方がよい　⑤なくすべき
⑥その他（具体的に

5. 参加費500円に見合っただけのことはあったと思われますか？
①満足　②まあ満足　③何とも　④少し不足　⑤不足
⑥その他（具体的に

6. プロローグ（設定、内容）はいかがでしたか？
①良かった　②まあ良かった　③何とも　④少し悪かった　⑤悪かった
⑥その他（具体的に

7. 基調講演（松浦辰男博士）はいかがでしたか？
①良かった　②まあ良かった　③普通　④少し悪かった　⑤悪かった
⑥その他（具体的に

8. 特別講演（有馬朗人博士）はいかがでしたか？
①良かった　②まあ良かった　③普通　④少し悪かった　⑤悪かった
⑥その他（具体的に

9. 参加者による討論はいかがでしたか？
①良かった　②まあ良かった　③普通　④少し悪かった　⑤悪かった
⑥その他（具体的に

10. 次回11月10日（土、14～16時）は「ラドン温泉」と「放射線測定実験」を予定しています。
①ぜひ参加したい　②できれば参加したい　③何とも　④参加したくない　⑤参加しない
⑥その他（具体的に

その他ご意見・ご感想などをご記入ください

次回以降、どのような内容のセミナーや講演をご希望ですか？

資料2.　第2回セミナーアンケート用紙

皆様へアンケートのお願い　　2007年11月10日
今後のセミナーをより良くするために、皆様のご意見をお聞かせください。

本日のテーマ　「ラドン温泉　成分から効能まで」、「放射線測定実験・参加者全員の討論」
年齢：　歳代　性別：　男　女　お住まいの市町村：　職業：

1. 本日のセミナーの情報は何から得られましたか？（複数回答可）
①チラシ　②広報ろっかしょ　③クチコミ　④新聞（新聞名　⑤その他（具体的に

2. 日時（の設定）はいかがでしたか？
①良かった　②まあ良かった　③何とも　④少し悪かった　⑤悪かった
⑥その他（具体的に

3. 会場（の選定）はいかがでしたか？
①良かった　②まあ良かった　③何とも　④少し悪かった　⑤悪かった
⑥その他（具体的に

4. 今回初参加者から参加費をいただきましたが、いかが思われましたか？（NPOは活動資金が乏し
①当然　②まあ当然　③何とも　④ない方がよい　⑤なくすべき
⑥その他（具体的に

5. 参加費（500円）に見合っただけのことはあったと思われますか？
①満足　②まあ満足　③何とも　④少し不足　⑤不足
⑥その他（具体的に

6. 「ラドン温泉　成分から効能まで」（テーマの設定、内容）はいかがでしたか？
①良かった　②まあ良かった　③普通　④少し悪かった　⑤悪かった
⑥その他（具体的に

7. 放射線測定実験はいかがでしたか？
①良かった　②まあ良かった　③普通　④少し悪かった　⑤悪かった
⑥その他（具体的に

8. 測ってみたい身の回りのものを持参されましたか？
①持参した　②持参しなかった　③測ってみたいもの無し　④その他（具体的に

9. 参加者全員による討論はいかがでしたか？
①良かった　②まあ良かった　③普通　④少し悪かった　⑤悪かった
⑥その他（具体的に

10. 次回2008年7月「放射線利用」、11月「活断層」を予定しています。
①ぜひ参加したい　②できれば参加したい　③何とも　④参加したくない　⑤参加しない
⑥その他（具体的に

その他ご意見・ご感想などをご記入ください

次回以降、どのような内容のセミナーや講演をご希望ですか？

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 11, No. 1, p. 53 - 60 (2007)

大学生の放射線に関する知識について
——講義に対するアンケートから

松浦辰男
ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム
東京都港区西新橋 3-23-6 第一白川ビル
(3 月 21 日受理)

[要旨] ある国立大学の理工系学部学生に１コマの講義「放射線のリスクと利用」を行った。本稿では、講義の後で学生に対して行ったアンケートにより、学生の理解度を調査したので、その結果を報告する。

１．　はじめに

著者は昨年１１月に、依頼されてある国立大学の理工系学部学生に放射線に関する１コマの講義を行う機会があった。依頼された講義の題目は「放射線のリスクと利用」というものであったが、『放射線概論——放射線はどの位まで安全か』という、下記の６項目に分けた１８ページのテキストをあらかじめ学生に配布し*、当日の講義では、別に 63 枚のパワーポイント原稿を用意してそれで説明した。テキストの内容は

（１）放射線・放射能の単位と自然放射線・天然に存在する放射性物質
（２）放射線・放射能の本質と性質
（３）放射線の利用（項目のみ）
（４）放射線の人体影響——放射線はどの程度危険か
（５）放射線防護——放射線をどのように防ぐか
（６）低レベルの放射線影響に関する「しきい値無しの直線的モデル」（LNT モデル）が科学的事実ではない証拠——原爆被災者のデータから

であった。

講義の当日は GM 式サーベイメータ１個を ^{60}Co や ^{137}Cs などのいくつかの種類の放射線源とともに講義室に持ち込み、講義の途中で、われわれの身の回りに自然放射線があること、及び放射線の線源からの距離が遠くなれば線量（カウント数）が減少することなどを実演した。

本稿では、この後で学生に対して行ったアンケートにより、学生のこの講義に対する理解度を調査したので、その結果を報告する。

2．アンケートの内容

第１問　環境に自然放射線・自然放射能が存在することについて次の質問に答えなさい。

1-1　自然放射線の存在について　（　）知っていた。　（　）知らなかった。

「知っていた」と回答した人に：

（　）それは学校の授業で習った。　（かっこ内に授業の科目を書く）

小学校（　）　中学校（　）　高等学校（　）

（　）学校以外（親から、マスコミから、など）で知った。

（知った場所：　）

1-2　自然放射線はどこから来ているか（複数の原因）について答えなさい。

（　）

1-3　それはどの位の量かについて答えなさい。（日本平均で）

（年間______ミリシーベルトである。時間当たりにすると______マイクロシーベルト）

1-4　環境に自然放射能が存在することについて

（　）知っていた。　（　）知らなかった。

1-5　人間の体内に、自然放射能が存在することについて

（　）知っていた。　（　）知らなかった。

---

*このテキスト全文は2007年11月の放射線教育フォーラム2007年度第2回勉強会で参加者に配布したが、フォーラムの2007年度の年度末報告書に収録する予定である。

1-6　人間の体内に存在する自然放射能について

（その放射性同位体の名前は__________、量は約__________ベクレル）

1-7　「ベクレル」といいう放射能の単位について

（1ベクレルというのは______________________________である。）

第２問　そこに放射性物質があると分かっているとき、そこからの放射線が体の外部照射を防ぐためにどういう方法があるか。またその放射性物質が身体に入ってきて内部照射をする恐れがある場合はどういう注意が必要か。

（外部被ばくは、　、　、　、の3つの方法で、

内部被ばくは、　、　、　、に注意する）

第３問　「放射線は少量でも非常に危険なものである」との考えがこの講義で、少しでも変わったかどうか聞かせて下さい。

（　）

第４問　講義について

3-1　内容が難しかった。　（特に______________、______________など）

3-2　少し難しかったが、興味を持てた。

（特に______________、______________など）

3-3　このテーマ（　）について詳しく知りたい。

3-4　質問があれば書いて下さい。

３．アンケート回答のまとめ　（回答数１７６）

（主な質問に対する回答数）

（第１問－１）　自然放射線の存在については、「知っていた」が 120（68%）で、「知らなかった」が 57（32%）であった。知った場所は、小学校で 3、中学校で 12、高等学校で 37、大学で 20、学校以外 40、不明８であった。

（第１問－５）　人間の体内に放射能が存在することについては、「知っていた」が 95（54%）で、「知らなかった」が８１（46%）、無記入１であった。

（第３問）　「放射線は少量でも非常に危険なものである」との考えがこの講義で少しでも変わったかどうか、については、「放射線は少量では危険ではない」という意見に変わった。が 135（77%）、「放射線は少量では危険ではない」ということは知っていたが 14（8%）、「『放射線は少量でも非常に危険なものである』という考えは変わらない」が 25（15%）であった。

４．学生たちの『この講義で放射線に対する意識が変わったか』に対する回答から

- 考えが変わった。知識がないのに恐れるのではなく、正しい知識を知ることが重要だと思いました。
- マスコミの放射能に対する過大影響報道には自分でも疑問を感じていた。もっと多くの人に放射能について本当のことを知って欲しい。
- 国民が放射線に対する知識をもつべきであるという意見は賛成である。人々が「科学万能」の意見を持ってしまうという心配はある。
- TV などで放射線を扱っていて、数字が出されるが、単位が分からなかった。数字だけの大きい、小さいで決め付けるのではなく、正しい知識を持つと、思っていたより危険が小さいことが分かった。
- 変わった。マスコミの影響が強いと思った。正しい知識を持たなければいけないと思う。
- 放射線のことを詳しく知らなかったので、ただ危険なものだと認識していたが、広い範囲にわたって使われていて役に立っているということを知りました。
- カリウムを含む食品にも放射能があるという例を聞いたときに認識が変わった。
- 放射線は量に関わらず危険だと思っていたが、身近な所や体内にも存在し、使い方によっては有益になるとわかった。
- 今までの常識がくつがえされた気がしました。
- 変わりました。適度が何事も大切ですね。ただ単位が普段の生活に関わりないものなので、身近に感じづらい。
- 変わりました。ガイガーカウンターで実演してくれて分かりやすかったです。
- 放射線についての考えは変わりました。放射線は身の回りに存在するもので、上手に付き合えば種々な分野に利用できることが分かりました。安全性を高めることができれば、有効な技術になると思います。
- もともと少しくらいならそれほど危険ではないだろうと認識していたが、講義を聴き少しな

らむしろ身体に良い影響を及ぼし、どのくらいの量で危険なのかと学んだことで、まだまだ誤解が多かったと思う。今回の講義で放射能について学び、放射能に対する誤解がとけたと思う。また、原子力エネルギーをもっと利用してエネルギー問題を解決するには、放射能の影響について人々の誤解をとかなければいけないのだと思った。

- 変わりました。病気の予防接種と同じ考え方で、少量は良いのではないかと思うようになりました。
- 放射線の存在がここまで身近だとは知りませんでした。放射線は少量でも危険であるという意識があったので、考えが大きく変わりました。放射線は生物にとってただ危険なものという意識がありましたが、今日の講義により、新しい知識を得たとともに、意識が変わりました。
- 今まで私は放射線は少量でも危険だという意見を持っていたが、少量であれば体に有益であるという話を聞いて考えが全く変わった。化学の目線で原子力を考えることがこんなに楽しいとは思わなかった。
- 放射線は少量だと体によくて、生活の中でも浴びている。今まで、「放射線は危険」という固定観念しかなかった。よく考えれば、今まで放射線に対する知識が少なすぎたと思う。もっと中高で学ぶ機会を増やし、知識が増えれば、原子力発電の考え方も変わってくると思う。
- 放射線は危険であることに変わりはないが、量や時間、使い方によっては非常に有用な物質であるという考え方に変わった。
- 症状が体内に起こるものなので治療が困難だし、晩発障害というものを知って、ますます危険なものだと思った。
- 普段の生活でも被ばくしているのを知り、少しなら危険でないことがわかりました。
でもやはりまだ危険なものであるようには感じました。
- 非常に有用であるのはよくわかったが、放射線に対する恐怖感はあまり変わらなかった。ただ微量ならば体に益であると知り、少しは見直したし、これから放射線などとしっかり向き合っていかなければならないと思った。
- 説明では大丈夫だと思いましたが、測定器の反応を見て不安になりました。
- 安全性や利便性など話を聞いて少しは良いものと思ったが、自分の中ではまだ「危険なもの」に変わりはない。
- なんにでも含まれることが測定器で目の当たりにし、恐いとおもいました。
- 多少は変わったが、それでもまだ危険なものとして認識している。
- 身の回りに普段から存在していることから考えが変わったが、依然として放射線が危険であることは変わることない事実である。
- 放射線は少量でも危険であるという考えは変わったが、やはり原子力発電所は危険というイメージがある。
- ある程度変わった気がします。でもやっぱり不安はぬぐいきれないです。
- 4000 ミリシーベルト程度の放射線で受けた人間の半数が亡くなってしまうと聞き、危険性を強く感じた。
- 脱毛、精神遅滞、白内障、ガンなど、恐い症状が出ることを知り、少量でも危険であることを改めて実感した。
- （少量であれば）影響が無視できる範囲というのは理解できるが、むしろ有益というのには

やはり抵抗が残る。

- 少量なら危険ではないと分かっても、やはり放射線に対する恐怖は大きいままである。
- いままではそう思っていたが、それを否定するデータを知って、放射線はそんなに思っているほど悪いものではないのかもしれないと思った。でも先入観があるため完全に受け入れるのには時間がかかると思う。
- 体内にも存在するということで、少し変わった。しかしやはり恐怖感を感じてしまう。
-

5．学生達からでた質問

- 今の広島･長崎は他の町と比べてやはり放射能レベルは高いのですか？
- 宇宙から強力な放射線がくるのはどうしてでしょう？
- 多量の放射線を受けると吐き気や脱毛などの障害がでることはわかったが、なぜそのような障害がでるのか、つまり放射線を受けたとき、体内でどのようなことが起こるのか？
- 人間の体の中に入った放射線はその後どうなるのか
- どうして少量放射能なら安全だということをマスコミは主張しないのですか？
- なぜ質量数が変化せず、元素が変化するんですか？
- どうして地球誕生直後の酸素や紫外線量などが分かるのか知りたい。
- 聞く耳を持たない人々や、教育レベルが低くて原子力反対派の人々に講演したことはありますか？
- 将来的に放射能を完全に遮断するような素材は作られるのでしょうか？
- 被爆後の白血病の発生経過のグラフの理由が知りたい。
- （健康によいという）少量とはどのくらいですか？
- シーベルトとグレイとベクレルの換算方法が知りたい。
- 放射線を防護できる物質とそうでない物質の違いは何ですか？
- 放射線の細胞の影響について、アポトーシスはどのくらいの割合で、また異常なDNAとなるのはどのくらいの割合で起こるのか？
- どのくらいの量の放射線が体に良いのですか？
- レントゲンを受けすぎて体に影響が出ることもあるのですか？

6．自然放射線の存在に関する社会人グループへのアンケートの結果との比較

著者は上記の大学生への講義のほかに、2007年12月及び2008年1月に治安関係の社会人組織（消防と警察）のグループに同様の講義を行う機会があり、その後アンケートを行ってこれらの講義聴講者の自然放射線に関する知識を調査した結果は以下の通りである。

○ 消防関係者（平均年齢約40歳、57名）については、
　自然放射線の存在について：「知っていた」88%、「知らなかった」12%
　人間の体内の放射能について：「知っていた」46%、「知らなかった」54%

○ 警察関係者（平均年齢　43歳、219名）については、
　自然放射線の存在について：「知っていた」71%、「知らなかった」29%

人間の体内の放射能について：「知っていた」33%、「知らなかった」67%

すでに述べたように、大学生（176名）に対する数値は、

自然放射線の存在について：「知っていた」68%、「知らなかった」32%

人間の体内の放射能について：「知っていた」54%、「知らなかった」46%

であったので、大学生と消防関係者、警察関係者とを比較してわかることは

（1） 自然放射線の存在に関しては消防関係者が最も認知度が高い。学生も警察関係者もほぼ同等。

（2） 体内の放射能の存在に関しては、いずれのグループも知識度が低い。そのうちでも学生の半数以上が知っていたが、次に消防関係者の半数以上が知らず、警察関係者では3分の2が知らなかった、という回答であった。

このことは、消防関係者は、警察関係者よりも、すでにこの種の教育を受けていたことに基づくようである。

7．おわりに

放射線に関する基礎的知識、特に学校教育で学ぶべきことは何だろうか、を考えると、今度作った講義のテキストにもこれらについて解説したが、それらは

1．身の回りに放射線・放射能が存在すること。

2．その量は場所（地理上の位置、高度）により、変わること。

3．放射線と放射能の違い。それらの基礎的単位。

4．人間の身体中にも、また日常の食物中にも放射性物質が存在すること。

5．放射線の種類とその基礎的性質。特に物質への透過力。

6．放射線の利用。それは放射線のどのような性質に基づいているか。

7．放射線の人体影響について。細胞やDNAが放射線を受けたときどうなるか。

そして最終的には？

8．どの位までの放射線量ならば心配しなくてもよいか。

9．放射線外部被ばくを防ぐための3原則。

10．放射性物質の半減期。

11．放射線・放射能を取り扱うときの注意事項。

などであろうと考えている。このたびのアンケートで、大学生から種々の質問があったので、これらの事項についても今後検討して例えばQ&A形式の資料を作るなどして今後の教育に役立てて行きたいと考えている。この報告書の読者におかれても、例えばこの質問にはこのような回答でよいのではないか、といったご意見があれば、論文にするとか、フォーラム事務局まで教示いただければと希望する。

なお、放射線教育の内容での最重要事項である上記の7及び8の問題については、今回の大学での「期末テスト」に次のような問題を出題し、その回答例をつくったので、以下に記す。

（問題）　少量の放射線（100 ミリシーベルト程度以内）であれば、特に一度に浴びるのでなく少しずつであれば、全く心配することはない。この理由をいくつか挙げて説明しなさい。

（回答例）

二つの理由がある。(1)ひとつは放射線に対して、人体には防御機構がそなわっているという身体のメカニズムに関することであり（テキスト 11 ページ、図 17、）(2)もう一つは放射線を浴びた人の疫学的データ～である。

(1)生命が誕生した３０億年前から、人類も誕生した 500 万年前から自然放射線を受け続けてきた。この結果、生命体はこのような刺激に耐える機能を身につけるようになった。

体内では、新陳代謝の過程や放射線などによって、活性酸素などのフリーラジカルが作られ、これらによって、細胞や細胞内で一番重要な染色体内の DNA 分子が損傷を受ける。しかし生体は、この損傷を修復する機能が備わっている。一度に大量の放射線を受けると、この修復力を超えるために骨髄や内蔵などの機能が低下し、最悪の場合、死にいたることがある。しかし放射線の量が少ないときは、DNA にできた傷はほとんど修復される。

まれに修復に失敗して傷が残った不良の細胞ができると、このものの存在は生命体全体に悪い影響があるので、不良細胞がひとりでに自爆して組織から排除される。これをアポトーシスという。

さらに、極めてまれに異常な DNA が残ってそのような細胞ががん細胞として増えそうな場合には、身体全体の「免疫作用」が働いて増殖が抑えられる。

これらは動物実験などによって確認されている。

(2)発がんに関する疫学的データから少なくとも 100 ミリシーベルト以内は安全と考えられる理由。（100 ミリシーベルトは急照射のしきい値であって、低線量率、分割照射、あるいは身体の部分だけの照射ではこれよりはるかに高い線量である。）

放射線による障害は、同じ線量でも短時間に受けるほど影響が大きいことがわかっているが、

①非常に短い時間で被ばくした原爆被爆者の場合でも、発ガンなどの発生に統計的に有意な影響が見られるのは 100 ミリシーベルト程度以上である。（この値(しきい値)についてはより客観的に正しいと考える解析では約 370 ミリシーベルトと見積もられている（テキスト 15 ページ）。

②地球上には、自然放射線レベルの高い地域として、インド〔ケララ、土地からだけの平均値 3.8 ミリグレイ/年〕やブラジル〔ガラパリ、平均値 5.5 ミリグレイ/年〕、イラン（ラムサール、10.5 ミリグレイ/年）などの地域がある。通常の（土地からだけの平均値は 0.5 ミリグレイ／年）であるが、これらの地域の住民の健康に悪い影響を与えていない。中国広東省陽江県には、自然放射線量が通常の 3 倍の地域があり、ここでは日中の研究者チームにより合計約 11 万人に対する健康調査が 10 数年にわたっておこなわれていて、現在のところがん死亡率は、放射線の高い地域の方が低いという結果になっている。

③長期間にわたり、低線量の放射線を浴びていた種々のグループがある。この中の英国の放射線科医師がＸ線の生涯被曝量とがん死亡率との関係は注目に値する。初期の頃（1897－1920）は、年間の被爆量が約 1 グレイ、生涯被が 20 グレイもあったので、一般臨床医と比較すると、放射線

医師のがん死亡率は1.75倍であったが、最近（1955－1979）では年間被爆量が約5グレイ、生涯被爆量が約100ミリグレイと少なくなると、がん死亡率は、一般の臨床医師より約30%も低いという結果になっている。

そのほか、日本の原子力発電施設等の放射線業務従事者や米国原子力船修理作業者のデータ、米国・英国・カナダの原子力従事者のデータ、欧州の定期航空便のパイロットのがん死亡率の調査など、低線量の被爆がほとんど影響がないか、むしろ健康に有益と考えられる事実がいくつかある。

謝辞：「放射線概論」のテキスト作成後に、放射線教育フォーラム顧問の山寺秀雄先生からご懇切なコメントを頂き、それを考慮してその後にテキスト改訂版を作成した。また放射線の人体影響に関する回答例の作成に当たっては、フォーラム顧問の金子正人氏より有益なご意見を頂戴した。お二方に深く感謝する。

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 11, No. 1, p. 61 – 66 (2007)

高レベル放射性廃棄物保管・監視に国家直轄地を設定すべし

荒谷美智
六ヶ所村文化協会
〒039－3212 青森県上北郡六ヶ所村尾駮字野附1－8文化交流プラザ　スワニー
(2008年2月17日受理)

［要約］：高レベル放射性廃棄物の最終処分場として市町村レベルの地方自治体が誘致を表明しても県知事が承諾しなければ、その意思表示は無効であって成立しない。知事の承認が必要というのは国の方針であり、近年、正にこのような繰り返しの連続であった。今、ここで何らかの新しい原則が導入されない限り、このような堂々巡りは永久に繰り返され、最終処分場は決まらないであろう。新しい原理、それは国家直轄地の設定に他ならない。

【はじめに】ここでは使用済み核燃料再処理という政策論や、関連する技術論はさておき、この政策が具体的に展開される場・空間という切り口からこの再処理政策における問題の所在を整理し、その根本的解決に必要な条件を考えてみたい、というのが本稿の率直な意図である。

【国策民営方式のままで問題は解決するか】これまで、使用済み核燃料の再処理事業という政策は、いわゆる「国策民営」方式で遂行されてきた。確かに、民営という点については明確であったが、国策という面になると途端に不明瞭・不透明になる。このため、再処理事業の施設立地県である青森県の歴代知事が、「国策であること」を機会ある毎に、とりわけ何事か事故らしきことがある毎に、国に確認するという手続きが繰り返し採られてきた。しかしながら、このような手続きがその都度繰り返されるということに、何ら法的な根拠がある訳ではなく、恣意的なことであり、ある意味では実力行使でさえあり、そうでなければ儀式、あるいは、これこそが「まつりごと」と言うべきなのかも知れない。

私は、今でも、あの嵐の一夜を忘れることが出来ない。その日、日本の使用済み核燃料から国外（この時はフランス）の再処理工場で取り出されたそのプルトニウムが、世界の注目の的になった長い航海を終えて遥々、むつ小川原港に帰ってきた。しかし、青森県知事（当時）は、これが国策であることの保証が充分なされていないことを楯にこの船の接岸を拒否し、船は嵐の夜に港外で一夜を明かすことになった。そして、その翌日、科学技術庁（当時）から次官（当時）が県庁に飛んで来て、漸く決着がついたのであった。

もし、こういう「まつりごと」を繰り返すこと自体が「国策であること」の保証であるとしたら、これは何とも心許ない国策であると言わねばならない。これについては、より客観的であり、且つ、歴史的にも納得できる根拠に基づいて国策であることが保証され、国策遂行者が正々堂々、誇りを持って対応できるのでなければ、国策の名に値しないであろう。

【エネルギーは一地方自治体の問題ではなく国家の問題】以上の「まつりごと」は、エネルギーが国家の問題であり、一地方自治体の問題ではないにもかかわらず、国策民営方式に拠ることからきていることは明白である。もとより、むつ小川原港は青森県六ヶ所村に位置している。しかしながら、この場合、もし、むつ小川原港という港湾の位置する一定範囲の領域に「国家直轄地」が設定されていたならば、何事もなく船は接岸したことであろう。

ところで、同じむつ小川原開発地域内に設置されている石油備蓄基地については、幸い「国家

石油備蓄基地」と呼ばれている。その周囲に「国家直轄地」が設定されているのかどうか、おそらく、そうではあるまいと思われるが、少なくともこのような名称上の配慮だけでも必要ではあるまいか。そこに備蓄されている石油が、特定の民間企業のためでなく国家目的の使用のためであることが、この名称から保障されていると国民が感じられることに利点がある。

【用語の問題】本題に入る前に、ここで使用済み核燃料という場合の「使用済み」という用語について一言述べておきたい。先ずこれは、大変、誤解を招きやすい用語であることを強調しなければならない。というのも、エネルギー源として本質的に未だ「済んでいない」からである。人類が、長い間慣れ親しんできた木や炭、産業革命をもたらした化石燃料は燃え切って木灰（アルカリ）になる。しかし、核燃料はこのような意味では、燃え切るということがない。遠い未来に開発されるかもしれない新しい未知の型の核燃料ならいざ知らず、現在の原子力発電では、燃料の極一部（%の桁）が使われるだけであり、炉から取り出された核燃料の中には、エネルギー源である物質が未だ大部分残留しているということが一つ、もう一つはエネルギー源のつもりでなく原子炉に入れることになる仕方なしの付随的物質（ウラン 238）からも、エネルギー源として使用し得る物質（プルトニウム 239）が新たに生成しているからである。

具体的にいえば、自然状態より遥かに濃縮された（0.07%→3%程度）ウラン 235（いわゆる核燃料）に着目すれば、そのほんの一部しか使われておらず、核燃料としてはお目当てでないウラン 238（96～97%を占める）のほうからプルトニウム 239 が生成している。そしてこれが、日本の原子炉の中で出来たものであることから、いわゆる準国産のエネルギー源と見なされるのである。

【青森県下北半島における開発の歴史】青森県六ヶ所村の位置する下北半島における官主導の開発については、延々と遡る長い歴史があったことはよく知られているが、ここでは敢えて触れない。一連の経緯から六ヶ所村が核燃料サイクル施設立地の有力候補地として浮上したのは昭和 59（1984）年 2 月のことであった。村論を二分したといわれる激論を経て六ヶ所村長が青森県知事に対し、村論集約の結果として使用済み核燃料再処理事業のための「立地受け入れ」について最終判断を文書で正式に伝えたのが昭和 60（1985）年 1 月であった。以後、六ヶ所村は「核燃の村」として知られ、一寒村から準国産エネルギー資源（プルトニウム 239）確保のための地となったのである。

これは一地方自治体としての六ヶ所村の私事ではなく、また青森県の私事でもなく、日本国の公事であることは明白であった。しかしながら、国策民営というこの一語が常に一種の足かせとして機能してきたこともまた明らかである。すでに述べたような民営であっても国策であることを強調する儀式の繰り返しとなったのであり、事ここに至って、日本の過去（江戸 300 年）における政治的・社会的構築物（ソフト）としての天領 1）が円滑に機能していたことを想起すべきである。

【天領の歴史的形成】天領とは、江戸幕府の直轄領の俗称である。俗称である所以は、次のように理解されている。すなわち、天領の本来意味するところは、皇室（天皇）の直轄領であり、明治維新に際して旧幕府領の多くが明治政府の直轄県すなわち天皇の直轄領になったことから、さかのぼって江戸幕府の直轄領を天領と呼ぶようになったといわれている。江戸幕府の直轄領に対する正式の名称は、公儀御料所、御領所、御料（または御領）、公領である。本稿では、これらの事情を踏まえた上で、簡単のため「国家直轄地」の意味で「天領」を用いることとする。

天正 18（1590）年における日本全国の土地は石高換算で約 3 千万石近くあり、皇室領 0.5%、社寺領 1.2%、大名領 72.5%、旗本知行領 10%、幕府直轄領 15.8%であった。この中で旗本知行領については考え方が二つある。第一は大名領とともに私領地と見る見方である。この見方によると旗本知行領は天領には含まれない。第二は幕府直轄地とともに天領と見る見方である。なお伝統的にはこの見方がなされてきている。特に関ヶ原の戦いの後、慶長 8（1603）年、幕府開設後に徳川氏の直轄領が拡大され、天領＋旗本領として機能し、合計が 25 パーセントにもなり、慶長末年には 230 万石になり、元禄年間（1688～1704）には約 400 万石に達し、全国 68 か国のうち

47 か国に分布するに至った。
天領は、江戸幕府の創生期にあっては、大名・旗本の転封、知行替え、創設のために当てられ、新田の開発も行われ、総石高は固定されたものではない。江戸時代を通して延享元（1744）年の総石高 463 万石（年貢高 180 万石）を最高とし、以後は減少している。
天領の分布状況は、関東・東海・畿内を中心として北国・奥羽に多く、特に政治・軍事・経済・交通上の要地に設定され、年貢の基幹である米・商品作物の生産地域、山林地帯、都市、港湾、鉱山に重点的に分布していた。
天領の管理形態を見ると、享保 15（1730）年において天領のうち 360 万石が郡代・代官の支配地、74 万石が大名の預かり地、13 万石が遠国奉行の支配地など、画一的ではなく、天領ごとの特殊性に応じて多様な管理形態となっていた。各天領の年貢米や金銀は江戸・大坂に集められ、勘定奉行の管轄下に置かれ、幕府経営の重要な基盤であった。なお、天領農民と私領農民との間にしばしば感情的な対立があったことは、問題点として指摘されている。
現代において天領は可能か、という問いは当然予想される。しかしながら、むしろ、現代において如何にしたら天領は可能か、という問いこそ積極的に問われるべきではないだろうか。そして、この問いの回答は、止む無くこのような論説の形で高レベル放射性廃棄物について提案せざるを得ない科学普及活動者（理系人間）に加え、天領研究者（社会科学系人間）、法律家（実務人間）、政策担当者、等が集まって充分検討した上でなされるべきであり、筆者がここで個人的・恣意的にするべきものではないであろうと考えている。

【典型的な幕府直轄地の事例】これは、飛騨高山２）において見られる。天正 13（1585）年、豊臣秀吉は越前大野の城主金森長近に命じて飛騨平定・入封させ、以後、金森氏の施作によって高山の町は繁栄した。元禄 5（1692）年幕府は飛騨を直轄地とし、中心都市である高山に陣屋を置いて代官を配置した。代官は、騒動の原因となった一家二代を除いて、幕末までよくノブレス・オブリージュを実現した。
幕府が飛騨を直轄地にするに当って金森氏には何か落ち度あったということは認められず、飛騨の山林から算出される木材、近隣の諸鉱山が、幕府にとって国家を経営する上で必要不可欠と見なされたと考える以外に可能な解釈はないようである。それはちょうど、後年、国策会社としての電力会社がダムを造るために幾つかの村を水没させたが、国家的見地からエネルギー政策（この場合は水力発電の実現）に基づいて行ったのと同様とみなされる。いずれにしても、要するに資源がそこにあった、最適地がそこにあった、ということによる立地であると考えられる。
明治維新以後は日本の国土総てが天領になったような状況が現出し、知事は国家が任命するもの（江戸時代の代官のようなもの）となり、和魂洋才、富国強兵が標榜され、昭和 10 年を境にして軍国主義に傾斜していき、戦後は知事公選となって形の上では一見地方分権が実現されたように見えた。しかし、実態は恣意的な自由主義的ムードに流され、国家＝公的なもの、という図式がなし崩しにされ、国家意識も公共性も巧みに希薄化されてしまった。このような戦後の風潮の中、エネルギー政策において国策民営という方式が甚だ心許ない状況で推移してきているのも蓋し当然である。

【エネルギー政策展開の場は天領】それではこの甚だ頼りない国策民営という方式に、我国の歴史の流れに合った筋金を一本通すにはどうしたらよいであろうか。
それがここで述べようとするエネルギー基地天領論である。天領の中でも、とくに公的性格の強い、政治・軍事・交通の要路・都市・港湾・鉱山としての天領の考え方が参考になる。
原子力という言葉で括られることにより、使用済み核燃料再処理施設が原子力発電所と誤解される向きがあるように見受けられる。科学素養あるいは政策素養という面からみて何とも残念な状況である。事業の分類からみて再処理事業は、発電事業とは似ても似つかない鉱山・冶金の事

業、現場仕事である。有用物質を有意に含んでいても濃度（品位）が低いため当面保管する＝手を付けないということは、鉱山にあっては常のことである。使用済み核燃料を保管するということは、最終的であれ（再処理なし処分：一時の米国ユッカマウンテンの例）、中間的であれ（再処理前、一時的貯蔵：むつ市の例）、再処理直前であれ（全国各地の原子力発電所敷地内や再処理工場のプール貯蔵）、鉱山は鉱山でも人工の鉱山であり、我国にとって未踏の実験的事業である。

我国では、旧動燃の茨城県における再処理施設があり、小規模ながら再処理事業の歴史はすでに確立されているが、六ヶ所村における商業的規模における事業では電力会社の考え方によってフランス方式が採用されている。この意味では六ヶ所の再処理事業には、新たな方式による「未踏の社会実験である」という面があることは強調されなければならない。フランスでうまく行っても、実験室規模でうまく行っても、さらに小規模プラントで成功しても同じ方式が商業的な大規模でうまく行くとは限らないのが実験というものの本質である。このようなことはすでに他の多くの産業の事例において歴史の示すところである。

【日本の多くの原子力発電所はすでに人工鉱山】再処理工場が稼動する以前にあっては、使用済み核燃料はすべて原子力発電所構内で保管されている。現在 55 基あるわが国の多くの原子力発電所においては、その稼動暦からみて構内保管は既に限界に達している原子力発電所も少なくない。再処理事業が開始されても工場の再処理能力からみて当然一定量しか再処理されないことから、満杯になった原子力発電所から再処理工場に搬出されるまでの中間の時点で、ある期間一時的に貯蔵する施設が必要である。これが、現在、むつ市関根浜に予定されている使用済み核燃料中間貯蔵施設である。すなわち、使用済み核燃料の保管施設としての人工鉱山は、具体的には、原子力発電所構内および中間貯蔵施設となり、鉱物精錬業の場としては再処理工場が機能することになる。

再処理政策という方向性によって、これから人工鉱山において現実の多くの問題がいかにも「鉱山的」に起こってくる筈である。鉱山的というのは、泥臭く、あくまで現場的にという意味であり、常に机上論を超越した要素を持つ。本当の議論は、むしろその事実が国民の目の前に見え、ことの性質や重要性が顕わになってはじめて可能になるものと考えられる。何故なら、核兵器保有国における爆弾開発の歴史においては、それが戦時中のことであり、軍事機密に属する事柄であった故にその過程は多くの試行錯誤・事故・トラブル・不具合の連続であったに違いないのであり、多分、明らかにされていないことのほうが多いとみるべきであろう。後に論文、技術報告書類が公開されても基本的に明文化できない事柄も少なくない。日本におけるガラス張り平和利用の原子力にあってさえも、軍事機密という国家レベルではなくて、倫理的レベルの極めて低い、本質的にはつまらない（核過程に関係ない）多くの隠し事が国民の目に曝されて事業の信頼性が揺らいだことは周知の通りである。このようなことを根本的に避けるために、準国産エネルギー資源（プルトニウム 239）を確保するための土地を天領として特化し、関係者に公的使命感を付与することはこの国策を成功に導く上で一つの強力な方法と考えられる。

大変不思議なことに、この孤立した島嶼国家日本のエネルギーという特殊問題について少しも議論が深まることなく、地に足が付かない無国籍風の議論に終始してきた。ヨーロッパのように自国が原子力発電をしなくても８０％原子力発電国から買電しているという条件をすっかり度外した状況に対しては、事業展開の場を「天領」として特化し、「天領」の旗を掲げるという、一種の政策的治療が必要である。例えば、税金という面で放射性の保管物施設も１５年で一般の廃棄物施設と同じ取り扱いになってしまうというような現状３）は早急に改善されるべきである。

【人工鉱山とは何か】すでに述べたように、人工鉱山とは、鉱物の一大保存場であり、また、そのための金属精錬場を意味する。そして再処理事業に有っては、古典的鉱山における金・銀・銅などの鉱山ではなくて、ウラン・プルトニウム（さらに、他の超ウラン元素）を含む使用済み核燃料であるということになる。人工鉱山はこのように現実に分散的に立地されている。これは、安全性という面からも、当事者意識という面からも実は、望ましい状況であると考えられ、今後とも、一極集中は避けることは大原則とされるべきである。

使用済み核燃料の再処理過程で生じる高レベル放射性廃棄物、詳しくは核分裂片については、また別種の人工鉱山が立地されるべきことは当然である。高レベル放射性廃棄物の最終処分地が使用済み核燃料の再処理工場の立地地域である六ヶ所村でない所に想定されていることは、立地の一極集中を避けるという大原則から見て正統的であった。高レベル放射性廃棄物は、これまた、不適切で誤解を招く用語である。電子源・熱源としての利用、放射線源としての利用など、核燃料ではないエネルギー源として取り出し可能な人工鉱山とすべきことは、使用済み核燃料の場合と同様に考えるべきである。これらは、材料はじめ科学の最前線の技術が結集された近代的錬金術によって新たな有用物質に転換されるべきもので、半永久的に隔離されるべきものでは決してないことを銘記すべきである。放射性物質を扱う学者集団にあっては、当面、人間環境から隔離することに異存はないが、随時取り出し可能な形で保管・監視し、今後の研究の展開に応じて積極的に利用していくべきものであることは、ある意味で常識である。

【超ウラン元素の有用性】プルトニウム239以上の超ウラン元素についても有用性は明白である。これらの中性子過剰核の特性は充分研究されることにより新しい型の原子炉、例えば熔融液状核燃料炉などの開発によりいずれ使えることは明白である。英国が日本の使用済み核燃料の再処理で生じた放射性廃棄物の返還に当って、超ウラン元素を除く核分裂片に換算して海上輸送費の削減を提案している。英国が何故、超ウラン元素を確保しようとしているのか、次世代の新型核燃料炉を想定している以外に考えようはない。

日本や英国の専門的関係者ばかりでなく、六ヶ所村地元の有識者も「今、すでに、六ヶ所村にある高レベル放射性廃棄物の一時貯蔵分について30年-50年後、搬出のためその直前に初めて開けて見るというのは如何なものか。5年後10年後、等適当な時間間隔で開けて実際どうなっているか見て、検討しながら進めるのが本当（科学的なやり方）ではないか」と発言4）している。それが机上論ではない真っ当な考え方ではないだろうか。超ウラン元素の核化学的側面については参考文献5）に詳細を図示した。

最近、都市鉱山という用語が聞かれるようになった。これも人工鉱山の新種である。都市における工場内で、いわゆる一般の廃棄物から有用物質を再生する場所であり、ゴミ処理場などがこれに相当するであろう。対比として自然の鉱山、例えば､足尾銅山、石見銀山、佐渡金山などを考えれば、イメージがより鮮明になる。都市から遠く離れた遠隔地ではなく、人工密集地としての都市内で運搬のエネルギーを最小化した有用資源回収工場である。青森県が八戸市で推進している資源循環型省資源社会実現のための一環である各種金属類の回収事業は民間企業として充分の高収益を上げている。

【唯一の被爆国日本の道】日本の近代の歴史は、日本という特殊を自己中心的に肥大化した一つの結果であった。自己中心的な肥大化については反省し過ぎるということはないが、特殊ということの認識については、残念ながら依然、極めて不徹底であり、あまり進んでいないようである。この島嶼国家、この台風の通り道、この地震多発国、この火山国、等々としての実態は不変である。科学がプレートの動きや海流や気象を制御できるようになれば別であるが、そうでない限り、日本のそれらによる地政学的位相は不変である。したがって日本人は無国籍風に右顧左眄することなく、この特殊な地政学的現実に基づいて思考し行動することが、普遍に通じる王道であり、この道を採らない限りエネルギー問題の解決もあり得ないであろう。

日本の広島と長崎で多くの人（日本人ばかりではない）が亡くなったということに対して、もし日本という国が償うことがあり得るとすれば、それは原子力平和利用の基本的側面で世界に貢献することである。それは、今ある技術を単に実践・踏襲するだけでなく、核エネルギーに関する多くの研究を重ね、技術（人工鉱山も含めて）を開発することである。幸い日本は遥か過去、織田信長の政策により一神教的精神はすでに超克されてしまった。これは希望が持てる状況である。日本人こそ、被爆という歴史的事実を核爆弾で報復することなく、多神教的寛容という民族的美質を活かして平和利用のための科学で貢献できる唯一の人間集団ではなかろうか。

【今後、要請される原子力ＰＡのコペルニクス転換】

市民に対する科学技術政策の理解のための普及活動、原子力ＰＡ（Public Acceptance）は、これまで原子炉の構造とか技術的問題のみに偏っていて、また、あまりに画一的であった。それは対象者（地域住民）への実際的な配慮が欠如しているからであり、また、基本的に科学技術政策に見合った科学教育政策が、長い間殆んどなされてこなかったことによる。そもそも第二次世界大戦（太平洋戦争あるいは大東亜戦争）は、島国日本にとってエネルギー資源確保のための戦争であり、戦後、アイゼンハワー大統領によって原子力が新しいエネルギー源として平和利用路線が敷かれた時、中曽根科学技術庁長官が逸早くこの路線に乗ったのもこのような歴史的背景を抜きにしてはあり得なかったことである。より文科的な要素、例えば第二次世界大戦史、少なくとも太平洋戦争史はじめ、戦後の核外交などもっと取り入れられるべきであり、科学素養だけでなく歴史的素養も高めなければ、日本の将来は暗夜航路である。横道に逸れるが、必修の世界史を高校時代に学ばないで、いつ学べるだろうか。暗澹たる思いで聞いたニュースであった。原子力ＰＡは、基本的に文理両道であるべき時である。

【まとめ】市町村レベルの自治体と都道府県との関係から、日本にとって必要な政策が実行され難い、または実行が阻まれるようなことがあるならば、それが実行可能になるような原理を少なくとも一つだけは導入しなければならない。それが、この場合、「国家直轄地」を設定することである。我々には、後に「天領」と俗称されることになる「幕府直轄地」を江戸時代に運用してきた三百年という短くない歴史を持つ。この方式は、過去に実際に行われて公正に機能した前例がある故に、新しい観点から横断的・縦断的に再検討し、国家のエネルギー政策実現のために有効に活かせるポテンシャルを持つ筈である。これを引き出さないという手はない。

近年、交通・通信の飛躍的発展により都道府県の広域化として「道州制」がしばしば語られるが、都道府県を仮に「道州」に広域化したとしても、これまで述べてきた、市町村レベルの意思決定にかかわる上位自治体との関係という意味では、依然、問題として残り、何も解決にならない、すなわち、道州制が実現されても「国家直轄地」の設定は必要不可欠ということである。

参考資料

１） 荒谷美智“エネルギー基地「新天領」論”日本放射化学会、放射化学ニュース第 11 号、歴史と教育欄、37-42、2005
２） 丸山　茂『飛騨　天領史』斐太中央印刷株式会社、平成 13 年 10 月 1 日
３） 滝口亀太郎“核燃料関連諸施設に関する六ヶ所村税務資料”1984‐2004
４） 土田　浩、六ヶ所村文化協会読書愛好会研修会、ろっかぽっか、六ヶ所、2007
５） 荒谷美智“JCO 事故後の下北半島市民による自主的な科学活動の計画”４系統の超ウラン元素の壊変系統図（図１～図４）参照、Proceedings of the second Workshop on Environmental Radioactivity, 254, KEK, Tsukuba, Japan, March 15-16, 2001

「放射線教育」Rdiation Education
Vol. 11, No. 1, p. 67 – 72 (2007)

放射線利用の共通基礎の理解を向上させるための考察

田中隆一
ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム
東京都港区西新橋 3-23-6 第一白川ビル

(2008 年 3 月 11 日受理)

［要旨］ 原子力教育における放射線利用の話題がもつ特殊な現状を改善するため、共通基礎としての放射線利用の原理と方法、放射線利用発展の大筋、及び放射線利用のうち加工利用の共通的な利点について、それらの理解の向上のための考察と試みを述べる。

1．はじめに ― 放射線利用の話題の特色

原子力開発におけるエネルギー利用と放射線利用は原子力平和利用における“クルマの両輪”と言われている。このたとえは両輪が対等でバランスがとれていることを意味しているわけではない。たとえば、研究開発に投じられてきた予算や人員の規模には大きな違いがある。両輪の本質的な違いは予算や人員の規模ではない。エネルギー利用はエネルギーという唯一の目的を産み出すが、放射線利用では、放射線は千差万別の諸目的を達成するための手段である。つまり、同じ利用には違いないが、エネルギーと放射線は目的と手段という対照的な立場に置かれている。

原子力の教育や広報のなかで放射線利用の話題、特に産業利用の話題は一風変わっている。自然放射線や放射線影響の話題と同様に、放射線が主題でありながら、放射線を利用して得られた成果の話題に移ると、放射線とは関係のない、利用して得られた結果だけが強調されるというパタンになることが多い。特に産業利用の場合に著しい。それが放射線利用の話題の持ち味であると考えればよいのだろうか。

放射線利用の話題では概して放射線が役立っていることのみに焦点を合わせて記述される傾向がある。このことは、放射線利用の話題への導入によく登場する“実のなる木”によく現れている。放射線利用を象徴する樹木の枝に数多の利用成果が実っている絵のことである。“実のなる木”は放射線がどんな分野で役立っているかを一目で理解するに最適かもしれないが、理科教育という観点から考えると短絡的で放射線についての科学的な理解に結び付きにくい。

原子力発電に関する教育的な記述が原子核反応というエネルギー生成の原理から始まるのに対して、放射線利用では個別的な利用結果の便益ばかりが記述され、放射線利用に共通する科学技術的な内容が記述されないのである。現在、新しい学習指導要領が審議されており、放射線の扱いが前進することが期待されているが、この機会に理科教育における放射線利用の扱いがいかにあるべきか検討してみたいと考える。

問題は、放射線それ自体と個々の利用結果の話題との間には欠落され易い内容があり、系統的な知識として両者は適切に結合していないことである。この欠落した部分が前述の放射線利用における共通基礎の部分であり、その内容には、放射線の物質への作用、利用の原理と方法、及び放射線利用の特徴などが挙げられる。

本稿では、放射線利用の理解を系統化する目的で、放射線利用の知識普及の現状把握をもとにして、利用の原理と方法およびそれらに関連する放射線利用発展の道筋、ならびに、放射線利用

のうち加工利用の共通的な利点の説明について一つの試みを提案させていただく。基本となる捉え方の端緒は昨年度の報告[1]において述べたが、ここでは、その後さらに検討を加えた論考を含めてまとめて述べる。

2．放射線の産業利用は特に認知度が低い

ウィメンズ・エナジー・ネットワーク（ＷＥＮ）が行った放射線の利用や性質に関する知識のアンケート調査[2]によると、産業への放射線利用についての人々の認知度は、自然放射線や人体影響に比べて非常に低い。さらに、認知度の特に低い産業利用のうちでも、クルマやパソコンなどの生活用品への利用の認知度は、それらの経済規模の大きさとは裏腹に、農業利用に比べても極端に低い。じゃがいもの発芽抑制の認知度が例外的に高いのは一部の消費者の反対運動をマスコミが大きく取り上げてきた経緯があるからである。

クルマを構成する多くの部品とそれらの品質管理に放射線が使われているという意外な事実は、放射線が日常生活に深く結びついている実態を人々に理解させることでは情報価値が高いと思われる。しかし、認知度がこれほど少ないのは、後で述べるように、人々がその情報に接する機会が少ないという理由だけではないと考える。

この背景には、生産者は生活用品の製造に放射線を利用している事実を公表したがらない傾向があるとともに、生活用品を構成する部品の製造工程がブラックボックス化しており、消費者も製造手段に関心がないという問題がある。ただし、医療利用では話題が人の生死が関わるので、放射線へ関心度が概して高く、認知度も高い傾向がある。ここでは、自然放射線や人体影響に比べて社会的な関心度が低い一つの原因として、後述のように、放射線利用の話題のなかでの“放射線の存在感”が乏しいということを指摘したい。

3．原子力エネルギー利用の話題との比較

これまで述べたころも含めて、原子力エネルギーと放射線利用の話題を比較した結果を図式的にまとめると、図１のようになる。

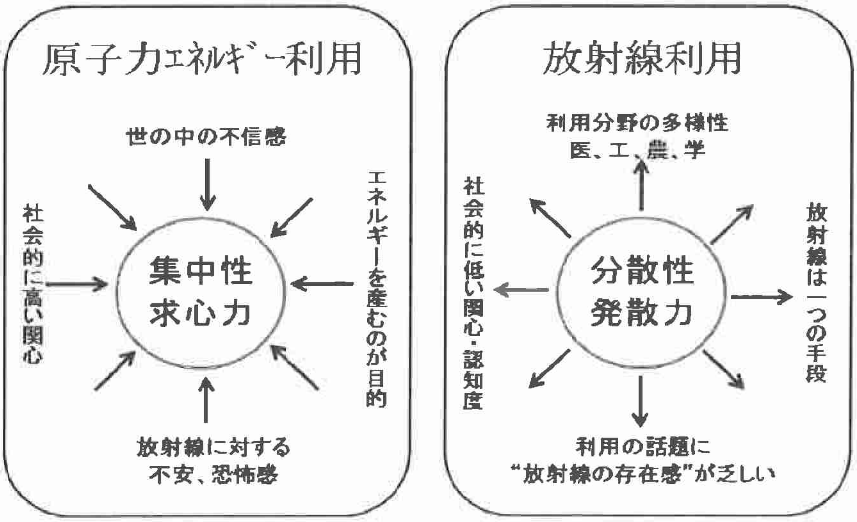


図１ 原子力利用と放射線利用の話題の比較

原子力エネルギーでは世の中における不信感、放射線に対する不安感や恐怖感などが結果として社会的な関心を高めており、議論に集中性があって、常に求心力が働く傾向がある。一方、放射線利用では利用分野が医療、産業及び学術に分かれるが、さらに各分野のなかで話題が際限なく分散し展開していく。また、個々の利用の話題は放射線が役立つことが強調されるが、自然放射線や人体への放射線影響の話題に比べたとき、話題のなかに占める“放射線の存在感”が乏しいのである。放射線利用の話題は、“放射線への求心力”が働かず、むしろ“発散力”が働く。これに対して、自然放射線の場合はさまざまな実習体験に、人体への影響の話題は放射線被曝の問題に結びついて、それぞれ“放射線への求心力”が高く、そのことが認知度を高めていると考える。

分散的、発散的な特質は放射線利用の言わば宿命のようなものかもしれないが、利用の結果だけに着目する教育では、利用結果の科学技術が個々ばらばらに理解されることがあっても、結果を生む手段としての放射線についての科学的な理解へとは必ずしも結び付かない。放射線利用の話題における“放射線への求心力”を高めるためにも、原子力発電におけるエネルギー発生機構の理解と同じように、放射線がどのような原理で利用され、なぜ役に立つのかという科学技術的な理解を高める工夫ができないかと考える。

以上の考えの上に立って、放射線利用の共通基礎についての科学技術的な理解を向上させるための二三の試みを以下に紹介する。

4．放射線利用の原理と方法

放射線利用には図２に示すように大きく分けて２つの方法がある。放射線は物質や構造物を通過しながら、物質に対して繰り返し作用し、その結果として物質にエネルギーを分け与え、物質が受け取ったエネルギーが世の中に役に立つ効果を生む。

作用は放射線や光の副次的な放出も含むが､その放射線や光を検知することによって物質･構造物に関する有益な情報を得るという利用形態が計量・観察という利用原理である。象徴的に言えば、ものを「観る」という科学的利用である。

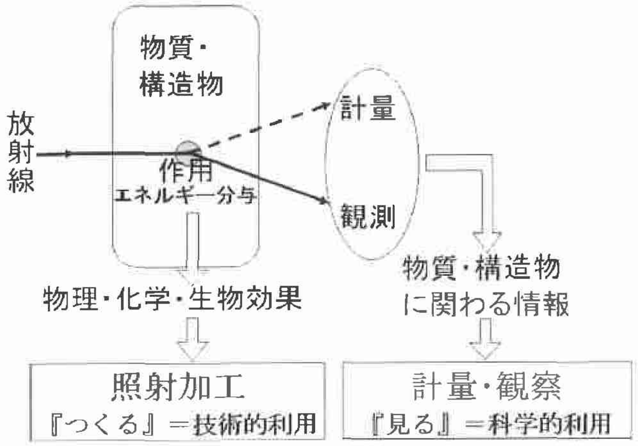


図2　放射線利用の二つの利用原理 [1)]

放射線作用で分け与えられたエネルギーが物理的、化学的、さらには生物的な効果を対象物に及ぼす。その効果を活用する利用形態が照射加工という利用原理である。象徴的に言えばものを

「つくる」という技術的利用である。

厳密には、作用(action)という表現は放射線と物質との相互作用(interaction)とするべきかもしれないが、作用の結果として物質にエネルギーが分け与えられるという程度の理解でも理科教育における特に不都合は生じないと考える。放射線も実体はエネルギーであり、放射線利用も本質においてはエネルギーの利用であると理解できる。そうすれば、吸収線量の概念の理解にも結びつくだけでなく、エネルギー教育の枠のなかでも、放射線が取り入れ易くなると考える。作用(action)を広く捉えれば化学的及び生物的なものも含まれるかもしれないが、それらはむしろ作用の結果としての影響(influence)ではなく効果(effect)と捉えて、化学効果、生物効果として扱うべきであると考える。

作用という表現が包括的で分かりにくいかもしれない。しかし、作用の端緒である電離あるいは衝突という放射線用語を導入すると、確かに具体的ではあるが、それらを放射線利用のもとになる化学効果、生物効果などに結び付けるためには、原子・分子や物質の構造の知識をベースとした一連のミクロな原子・分子の反応過程を理解できる高度な物質科学の知識が必要となり、専門的で分かりにくいとみなされやすい。ここではミニマムなベースとして、作用、効果、エネルギーという包括的なキイワードに止めておく。

しかし、このような包括的な説明では満足できない生徒が具体的、定量的な説明を求めることも事実である。ここでは、数量的な理解の要求に応えながらも専門的な領域に深入りしない工夫がなされている放射線教育に関する文献[3,4]を紹介するに止める。

5．放射線利用発展の大筋

放射線利用の方法は放射線利用発展の歴史と深く結びついている。放射線利用の現在をよく知るためにも、放射線の発見に始まる利用の発展の流れを理解することが望ましいと考える。ここでは基本的な理解に役立つ放射線利用発展の大筋を図３に示す。

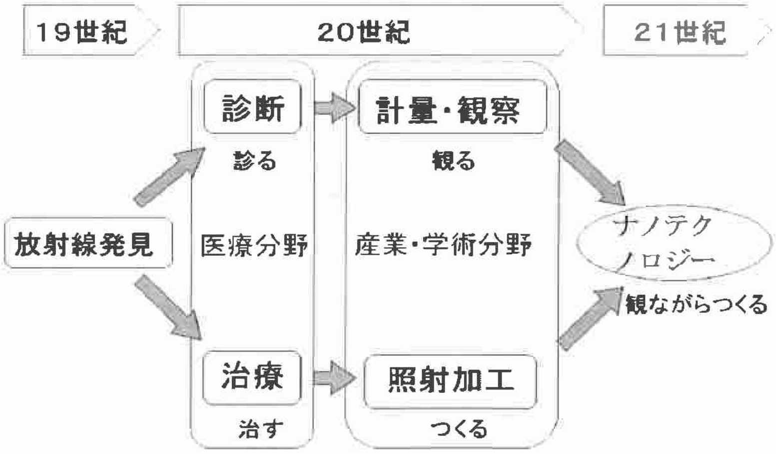


図3　放射線利用発展の大筋

放射線の利用はその発見の直後から医療分野において始まった。利用には当初から二つの利用目的があった。第１の方法は放射線の透過性に着目した病変の診断であるが、この利用法は発展して作用の結果を情報として活用する計量・観察という利用原理として普遍化された。第２の方法は放射線照射による病気の治療であったが、この利用法も発展して放射線が物質に及ぼす効果

を活用する照射加工という利用原理として普遍された。こうして計量・観察と照射加工に二分される産業、学術への放射線利用が前世紀の後半に登場するとともに、診断と治療に二分される放射線医療はその後もそれぞれ発展し続けた。

現在進行中の21世紀の展開は、計量・観察と照射加工の二つの利用原理を微視的な領域で機能的に融合する高度な利用原理としてさらなる発展を重ねつつある。放射線は微視的な領域こそ得意としており、"観ながらつくる"ことが可能な手段として、わが国の科学技術推進の重点戦略としてのナノテクノロジーの重要な技術基盤を支える役割を担っている。

このように、発展の方向性を示すことによって放射線利用の現在の段階を位置づけることができる。

6．放射線利用の共通的な利点 ― 加工利用の場合

放射線はある目的を実現するための手段として利用されているのであり、その目的を実現するのに放射線以外の手段が存在しないという例はむしろ少ない。多くの場合、一つの目的に対して複数の手段が競合し合い、そこには常に経済的あるいは学問的な競争原理が働いている。そういう環境のなかで放射線はさまざまな目的に実際に利用されている。放射線が選択されるからにはそれなりの理由がある。

しかし、個々の利用の話題のなかでは、放射線を利用することの利点が強調されることがあっても、放射線利用全体として共通の利点が指摘されることがほとんどない。しかし、放射線利用の多様性を考えると、十分に説得力あるような共通利点の整理がそう簡単ではないことは事実である。そうかと言って、個々の利用目的の間に共通の利点が見出せないとすれば、放射線はやはり得体のしれない不思議な存在なのかと思われかねない。

そういうわけで、共通の利点をどのようにわかりやすく整理すればよいかを考えたが、計量・観測と照射加工に共通したシンプルな整理案がまだまとまらない。ここでは照射加工のみについて、共通の利点を整理する一つの試みの提案をさせていただく。

加工への放射線利用の共通的な利点を整理した試みを図４に示す。

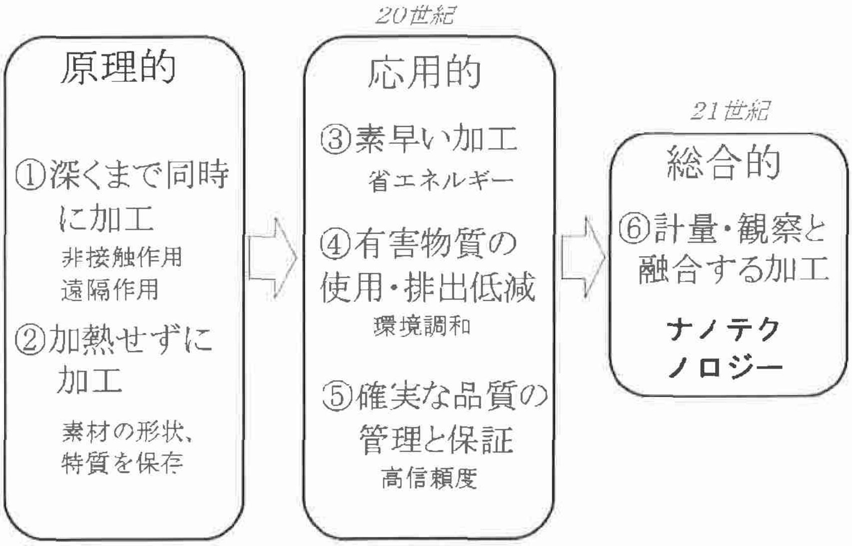


図4 加工技術としての放射線利用の共通的な利点

放射線利用の最大の特徴は対象物の深くまで同時に加工できること、加熱せずに加工できるため対象物の物性や機能の制御が容易なことである。

利点①と②は放射線加工のもつ原理的な特徴であり、他のあらゆる加工手段にとって代わることのできない基本的な利点として位置付けたい。

利点③の素早い加工、利点④の有害物質の使用･排出の低減、利点⑤の確実な品質保証・品質管理は、原理的な利点①及び②から誘導される応用的な利点として位置付ける。

これらのうち、③は原理的な特徴から必然的に引き出せる利点であり、省エネルギーの手段であることは明解である。

利点④については､なぜ有害物の排出が少ないのかということであるが､有機物質の製造では､多くの場合、必要な化学反応を開始あるいは促進するために化学物質を添加するが、添加物質は有害である場合が多く､それが製品内に残留し､使用後に廃棄することで環境負荷の原因となる。また、化学処理や加熱によって排出される排ガス、廃液、悪臭も環境負荷の原因となる。放射線照射は化学物質を不要とする環境調和的な手段と言える。

利点⑤は放射線加工が他の加工手段と比べてみればその優位性を強調できる。加熱処理や化学処理の場合とは違って、放射線効果は高い精度で容易に計測できる放射線量値だけを信頼して精密に制御できる。

利点⑥はすでに述べたとおり､計量･観察と照射加工という２つの利用原理の機能的な融合であり、これによって高度な微細加工技術が実現し、情報、素材、医療、加工などの諸分野で革新的な技術に発展することが期待されている。

この利点の整理の基本的な考え方は放射線照射の利用に共通するので、キイワードを変えるなどの工夫によって、放射線治療に対しても適用できるのではないかと考える。

７．あとがき

放射線利用の結果だけに着目する教育では、個々の結果については科学技術的に理解しても、結果を生む手段としての放射線についての科学的な理解へとは導かない。放射線は目に見えないからと言って“得体が知れない”あるいは“摩訶不思議”な存在ではないことを認識させるためにも、放射線の作用や効果に関する科学的な基礎理解が必要である。

放射線の作用についての人々の認知は、人体への影響や防護についての一面的な理解によって否定的な価値観に染まっている。これを改めることは確かに容易ではないが、ここで取り上げたような放射線の利用原理、放射線利用の歴史、及び放射線がなぜ役に立つかについての科学技術的な理解は、放射線の作用について肯定的な価値の側面の認識を促し、結果として放射線作用についてバランスの取れた理解へ導くことが期待できる。

ここでの試みや考察はまだ模索の段階であり、さらなる考察と論理の肉づけを必要とするが、放射線利用全体にわたる系統的な構築のためのきっかけとしたいと考える。

参考文献

1) 田中：放射線教育 Vol.10 No.1, 59 (2006)
2) 『2001 年度第２回「くらしと放射線」アンケート結果の概要』(ｳｨﾒﾝｽﾞ･ｴﾅｼﾞｰ･ﾈｯﾄﾜｰｸ)
3) 大野新一：放射線と産業 NO.102, 72(2004)
4) 大野新一：放射線と産業 NO.103, 38(2004)

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 11, No. 1, p. 73 - 78 (2007)

新潟県中越沖地震と柏崎刈羽原子力発電所

村主　進
原子力システム研究懇話会
東京都港区虎ノ門 1-7-6　升本ビル４階
(2008 年 3 月 10 日受理)

要約

平成 19 年 7 月 16 日にマアグニチュード 6.8 の新潟県中越沖地震が起こった。この地震によって新潟地方は大きな被害を受けたが、柏崎刈羽原子力発電所も多くの被害を受けた。そして原子力発電所であるがゆえにマスメディアは大々的に地震被害の報道を行った。しかし読者･視聴者にとっては全く異なる内容が報道されていた。これでは何が正しいのか分からなくなる。

本論文ではマスメディアの報道の一例を示して現実を正しく理解するにはどうすればよいかを示す。

1. はしがき

平成 19 年 7 月 16 日にマグニチュード 6.8 の新潟県中越沖地震が発生して、震源に近い柏崎市や東電の柏崎刈羽原子力発電所は大きな被害に見舞われた。

この地震により柏崎市で死者 10 人、重軽傷者 1,339 人、建物全壊 2,053 棟、大規模半壊 260 棟、半壊 1,804 棟、一部損壊 20,989 棟の被害があった。道路陥没、断水やガス不通などライフラインの損害も大きかった。

一方柏崎刈羽原子力発電所では､想定した地震動(設計地震動)を大きく超える地震に見舞われ､設計地震動の約 2.5 倍のプラントもあった。

この地震により、運転中の原子炉は安全に自動停止したが、微量の放射能が漏れた。また、3 号機所内変圧器（屋外に設置）に火災が発生するなど、安全上重要でない構築物および設備は多数損害を受けた。

さて、中越沖地震による被害について、朝日新聞の報道、読売新聞の報道および東電ホームページのプレスレリーズを較べ見ると、３社の報道には非常に異なるものがある。

一般にマスメディアが読者・視聴者の興味をひきつけるためには、各社が独自の切り口でもって報道する。事実の全体像を報道しないで、読者・視聴者が興味を持つ事実（事実の一部）を加工して報道することになる。読者･視聴者が事実を公正に判断するためには事実の全体像を把握しなければならないが、メディアが加工された事実の一部のみを報道することによって読者・視聴者に誤解を与えることが多い。

本論文では、原子力発電所の安全対策及び地震影響を先ず述べ、東電のプレスレリーズ、朝日新聞の報道、読売新聞の報道の概要を説明して、新聞･テレビに対する読者･視聴者の心構えにつ

いて述べる。

2. 原子炉の自動停止について

地震時に運転していた原子力発電所は1～7号機のうちの、3、4、7号機で、2号機は起動操作をしていたが、地震信号によって、運転中の原子炉は余裕をもって自動停止し、崩壊熱[(1)]は余裕を持って除去された。原子炉炉心の放射能は外部に放出されていない。

「原子炉は余裕をもって自動停止」と書いたのは次の理由による。

原子炉の停止、崩壊熱の除去、放射能の閉じ込めなどの安全系は深層防護の設計となっている。すなわちこれ等の設備は多重に設置し、しかも原子炉停止、崩壊熱除去等に必要とされる容量以上に冗長に設置（余分に設置）している。今回の地震においても多重に設置されている設備は用いなくても原子炉は停止したということである。

内部点検をしないで「原子炉は余裕をもって停止」といってよいのかとの疑問はあろうが、作動した設備以外の設備（多重の設備）も待機状態にあったことは、中央制御室のパネルで判る。

そして、東電のプレスレリーズの異常情報報告リストを見ても、原子炉停止系に関連する設備の故障・異常報告は見当たらない。従って約200本の制御棒[(2)]はすべて完全に挿入され、また多重に設置されているボロン注入タンクもその機能は健全であったと考えられる。

「崩壊熱は余裕を持って除去」と書いたのも、原子炉停止系における説明と同様である。すなわち崩壊熱除去系以外の設備でも崩壊熱は除去できるように多重に設備が設置されている。そのうえ崩壊熱除去系についても、崩壊熱除去系のすべての設備を利用することなく崩壊熱が除去できたことである。崩壊熱を除去する系統は、50%容量の系統3系統か、100%容量の系統2系統よりなり、冗長性を持っている。そのすべてが作動可能であったが、冗長に（余分に）設置された1系統は作動の必要がなく、従って余裕を持って崩壊熱を除去したことになる。

3. 耐震安全性について

原子力発電所の耐震安全性は、想定される地震動と建物設備の耐震設計で決まるものである。今回の新潟県中越沖地震は、想定された地震動（設計地震動）を遥かに越えた地震であった。

しかし設計地震動を超える地震があることも想定して耐震設計は十分の余裕を持って設計している。この設計の安全余裕が原子炉の安全を守ったものである。

原子力発電所の耐震設計は、①原子炉施設に対する安全設計(AsおよびAクラスの構造物および設備に対する安全設計)と、②一般の産業施設と同等なクラスのものに対する安全設計(Cクラスの構造物および設備に関する安全設計)と、③その中間の重要度を持つものに対する安全設計(Bクラスの構造物および設備に関する安全設計）とに分けられる。(旧耐震設計審査指針のクラス分

---

(1) 原子炉は停止しても、核分裂生成物の崩壊により熱を発生する。崩壊熱は指数関数的に減衰する。原子炉停止後もある程度の時間は崩壊熱を除去しなければならない。

(2) 制御棒の1本が挿入されなくても原子炉は停止する設計になっている。また離れた場所にある制御棒の複数本が挿入されなくても原子炉は停止される。すなわち制御棒本数は冗長（余分）に設置されていることになる。

けを用いる。)

このように重要度に応じて安全対策を行うのは、人間工学的見地に基づくものである。

人間は注意力に限界があり、留意する事項が多ければ多いほどミスを犯す頻度が高くなる。従って重要性の高いものだけ、その重要度に応じて、厳重な設計と慎重な取扱が必要となる。

As および A クラスの構造物および設備とは、原子炉およびこれを構成する機器・配管系と原子炉の自動停止系、原子炉の崩壊熱除去系、非常用炉心冷却系および原子炉格納容器などである。

As および A クラスの構造物および設備は、炉心に閉じ込められている核分裂生成物の放散を防ぎ、周辺の公衆の安全と健康を守るものであるので、特にその機能を失わないように十分な安全余裕をもって設計している。

この耐震設計の余裕が非常に大きいことは原子力発電技術機構の多度津工学試験所の大型振動台で確認されているところである。

この耐震設計の十分な余裕が、地震動が想定を大幅に上回るものであっても、原子炉が安全に停止し、余熱を除去して、原子炉の安全には支障をきたさなかったものである。

しかし、設計地震動の設定には甘いところがあったのは事実で、発電所周辺の断層を再調査して適切な設計地震動を設定する必要がある。

4. 東電のプレスレリーズについて

東電ではホームページにプレスレリーズの欄を設け、時々刻々プラント状況を発表してきた。これはプラント状況を規制当局に報告した後、直ちにプレス発表をしているものと考えられる。

柏崎刈羽原子力発電所が想定外の地震に見舞われたのは 7 月 16 日午前 10 時 13 分頃である。これに伴って東電は 16 日に 4 本のプレスレリーズを行っている。

第 1 報は、運転中の原子炉の自動停止と 3 号機の所内変圧器(屋外設置)の火災が午後 0 時 10 分鎮火したことである。

第 2 報は各プラントの運転上の制限値の逸脱および復帰情報である。

第 3 報は地震観測記録である。この時 1 号機の原子炉建屋最下階において東西方向の地震動が設計地震動の約 2.5 倍であることが報告されている。

第 4 報は 6 号機原子炉建屋の水漏れがあり、この水が放水口を通じて海に放出されたこと、およびその量が 6×10^4Bq であり、周辺環境に影響がないことが報告された。

翌日の 7 月 17 日第 1 報は 7 号機より 3×10^8Bq のヨウ素および粒子状放射性物質の放出、および周辺環境への影響のないことが報告された。

3 日後の 7 月 19 日第 3 報で自動停止した原子炉は冷温停止中であり、安定した状態にあることが報告された。

7 月 19 日以降も引き続き毎日数本のプレスレリーズを行い、発電所内の点検検査状況を逐次報告している。

マスメディアの記事は読者・視聴者が興味を持つように編集するので、記事の内容は必ずしも正確なものではない。また読者・視聴者に誤解を与えるような記事もある。

従って、東電の時々刻々報告しているプレスレリーズは、公衆に正確な情報を伝えるものであって、時宜を得た適切なものである。

地元の人も一般の公衆もインターネットを大いに利用して正しい情報を得るべきであると考え

る。

5. 朝日新聞の報道について

マスメディアが取り上げる報道は事件性のあるものと話題性があるものとに分けられよう。話題性についてはマスメディア各社がどのような話題を取り上げれば読者･視聴者の興味を引くのか、マスメディア各社の記者の腕の見せ所である。

原子力関係の情報は、｢安全｣というキーワードの下でマスメディアの格好の話題材料になっているのではないだろうか。

話題として読者･視聴者の興味を引くためには、それなりの加工を必要とする。この加工のために正確な情報が伝わらないことがある。読者･視聴者に誤解されて受けいれられることも多い。このような事例を以下に述べる。

東電のプレスレリーズの翌朝の朝刊より柏崎刈羽原子力発電所の地震被害を大々的に取り上げた。朝刊で1面、2面、3面社説、30面と、夕刊で12面と、かなりの紙数を用いて報道している。内容は想定外の地震が起こったこと、想定した地震動より大きい地震があったこと、放射能が洩れたこと、屋外の変圧器で火災があったことなどであって、読者に原子力発電所に恐怖を抱かせるような内容であった。特に社説では「原発の耐震力が心配だ」の表題で「背筋が寒くなったことは、原発が想定を上回る揺れに襲われたことだ。放射能を含む水が漏れ、火災も発生した。」とある。

以上の朝日新聞の報道の概要を読んだだけでは地震被害を大々的に取り上げたようには見えないが、読者には朝日新聞の報道の記憶は鮮明に残っていることであろう。殆どの市区町村の図書館では新聞の縮刷版が供覧に供されているので、記憶の薄れた読者には新聞の縮刷版を見て大々的な報道の内容を見て欲しい。

想定を 2.5 倍も上回る地震動に見舞われたことは事実であるが、朝日新聞は、耐震設計に大きい余裕があって原子炉の安全性には支障がなかったことには一行も触れていない。

事実は、耐震設計の大きい安全余裕によって、想定外の地震動にもかかわらず、原子炉は余裕をもって自動停止し、崩壊熱は余裕をもって除去されたのである。原子炉の安全性に支障はなかった。

原子炉が地震により自動停止したことについては、朝日新聞は「動かしていた原子炉が自動停止したが、3 号機建屋わきの変圧器で火災が起こり・・・」と、変圧器火災の記事に付随的に述べているだけである。原子炉は安全に停止したことを主題として述べた記事はない。

朝日新聞は、火災を起こした変圧器が耐震重要度ではCクラスで、安全上重要なものではないことにも1行も触れていない。

放射能を含む水が漏れたことは、7月17日朝刊1面の見出しで大きく「放射能を含む水、外へ　柏崎刈羽原発揺れ　国内最大」と書いている。しかし環境に影響を及ぼしていないことに関しては、本文に「人体や環境への影響は認められていない」と小さく書かれているのみである。

また本文を詳しく読むと、外に漏れた水は燃料プールの水が床に飛散し、この水が外部に漏れたものであることも分かる。

見出しのみを見て本文を詳しく見ない人は、この記事を見て大変なことが起こったと思うであろう。

これでは、原子力発電所を知らない一般の人が、原子力発電所に恐怖を持つのは当然である。

朝日新聞では 2004 年 11 月から原発震災問題を取り上げていたので、変圧器の火災によって最初から原発震災との位置づけで報道したようである。

これでは朝日新聞は原発震災との切り口で報道する意図を持って編集したものといえよう。現実に手を加え、送り手の観点から捉えた情報であるといわれても仕方がない。

6. 読売新聞の報道について

読売新聞では、地震直後の報道は朝日新聞ほどではないが読者に心配を抱かすような報道はあった。しかし朝日新聞よりもより穏やかな表現で報道していた。

しかも、中越沖地震の騒動がかなり収まった 8 月 3 日の読売新聞朝刊 3 面に「検証　柏崎原発地震被害」のテーマで、「原子炉被害報告　なし」の大見出しがあり「最大加速度 2058 ガルという強烈な揺れに襲われた東京電力･柏崎刈羽原子力発電所。敷地内での火災や浸水が大々的に報じられたが、冷静に検証すると、安全確保のシステムは正常に働き、原子炉本体など最重要機器の損害報告もなく、被害は周辺設備にとどまっていた。原発の耐震力の強さを示したといえる。」とある。但し「地震の想定の見直しは必要」とある。

また「外部への放射能漏れは 2 件あった。しかし、放射能漏れの量はどちらもごく微量で、それによって人間が受ける放射線量は､年間に自然界で浴びる量のそれぞれ約 12 億分の一と約 1200 万分の一。環境や人体への影響はなかったといってよい。」とある。

読売新聞 8 月 18 日朝刊 11 面には「基礎から分かる原発の耐震性の Q&A」が載っている。｢放射能漏れをどう防ぐ｣の Q には「万一の時、原発に求められる最重要機能は「安全に炉を止める」「冷やす」「放射性物質を閉じ込める」の 3 つだ」、「耐震力を A、B、C の 3 段階に分けて設計されている。」とある。

「想定を超える揺れには」の Q には、「想定を超える揺れだったのに安全が確保されたのは、耐震設計に「ゆとり」があったからと言える。」と設計上、強度に余裕があることを述べている。

以上の内容の記事は正確なものであり、専門家が見ても妥当な記事である。

7. まとめ

以上述べたように、朝日新聞と読売新聞では読者にとって全く異なる内容が報道されたことになる。これはマスメディアが報道した内容を読者･視聴者の興味を引くように編集することによるものであろう。

民主主義の世の中では、国民の世論が政策を左右し、国民の生活に大きく影響する。このために国民は物事を正しく判断する能力を持たなければならない。しかし大部分の人にとって物事を判断する材料はマスメディアの報道であることも事実である。従って国民がマスメディアの報道を間違って受け取らないことが重要となる。

マスメディアの情報を正しく理解し、正しい知識を得るためには、メディアの情報を鵜呑みにせず、よく吟味して理解することである。

よく吟味して理解するためには､読者･視聴者が新聞記事やテレビ放送の内容をきちんと読み取り、自分で正しく判断することが必要である。

このためにはできるだけ１次情報をよく読み、１次情報に基づいてメディア情報をよく吟味することである。１次情報とはこの場合は東電のプレスレリーズ、原子力安全委員会や原子力安全・保安院の発表などになろう。

また内容の正しい出版物をよく読み、できるだけ沢山の正しい基礎知識を蓄積することも必要である。すなわち、マスメディア報道以外の内容の正しい出版物も読むことが必要になる。

朝日新聞の記事も、ある程度の知識を持っている人が内容を詳細に読めば誤解することはないであろう。

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 11, No. 1, p. 79 - 80 (2007)

書 評

「神の火を制御せよ」

丸田浩・監修、小林政子 訳
発行: 径（こみち）書房 2007 年

原著「**Command the Morning**」

By Pearl S. Buck, John Day edition published、May 1959

５０年も前の 1959 年に出版され、欧米でベストセラーになったというノーベル賞作家パール・バック女史の小説の初めての邦訳である。この小説は、アメリカの原子力開発を目指す科学者たちの努力と苦悩を描き出そうとしたものであり、多くの史実に基づいた documentary 風なものである。しかし、この計画には女性科学者が参画していない。もし女性が参加していたら広島や長崎の悲劇を避けることができただろうか。パール・バックの亡き後その意図を知ることはできないが、この小説が欧米における反核運動の原動力になったことは確かである。なぜ今まで日本では出版されなかったのか、「神の火」とは何なのかなどを考えながらこの 400 ページの厚い邦訳に挑戦し、筆者なりの感想を述べたい。

小説は、原子核分裂の発見に始まり、日本への原子爆弾投下に至る過程を、小説ではあるがあくまで史実に基づいて、「大統領の決断」、「真珠湾攻撃の翌朝」、「カウント・ゼロ」、「原子爆弾投下」の四章から構成されている。

第一章はヨーロッパで勃発した第二次世界大戦直後のカリフォルニア大学バークレイ・キャンパスの教授クラブでの、シカゴ大学のアーサー・コンプトン教授とカリフォルニア大学のウィリアム・トンプソン教授とのある重要な相談から始まる。この相談の端緒は、1939 年にドイツのマックス・プランク研究所でオットー・ハーンがウランに中性子をぶつけるとバリウムができることを発見し、暫く前までかれらの共同研究者であったユダヤ系のリーゼ・マイトナー女史はこれがウラン原子の核分裂であることに気づき、その結果を翌年 Nature に発表したことであった。核分裂によって放出される莫大なエネルギーをドイツが兵器として使うことを恐れたアメリカ政府は、アーサー・コンプトン（小説中ではバートン・ホール）を中心とする「マンハッタン計画」をスタートさせた。バートンはマダム・キュリーの大ファアンである女性ジェーン・アールを助手として採用する。マンハッタン計画の進行とともに、科学者同士や家族との苦悩、ジェーンをめぐるロマンスの展開などが描かれている。これらを乗り越えて計画は進行し、ついに 1941 年末の日本軍による真珠湾攻撃で第一章は終わる。この章では、日本の物理学者の湯川秀樹、仁科芳雄なども登場する。

第二章では、アメリカの参戦直後、バートンの自宅へ旧知の日本人画家のヤスオ・マツギ（パール・バックの旧友の国吉康夫）が訪れて別れを告げるなどのエピソードもあったが、原子力利用の計画は着々と進行する。

「マンハッタン計画」の結成以来、ウランの濃縮、中性子の減速剤、制御棒の調整などのアメリカ科学者を動員した研究が実を結び、1942 年 12 月 2 日には遂にシカゴ大学のフェルミが原子炉の開発に成功する。ジェーンの協力を得て計画に協力したバートンは、世界の科学者へ「イタリア人（フェルミ）探検家新大陸に上陸す」という暗号電報を打電した。

歴史的な成功の過程を史実に基づいて記述した第三章に続いて、第四章では、ロスアラモスに建設された極秘の原爆研究所での話と、それに続く日本への原爆投下までの様子が小説風に記述されている。

原子爆弾の開発やその前後のことは、たいていのフォーラム会員の方はよくご存知であろう。この小説には、パール・バックは、何人かの架空の科学者を登場させているが、これによって事実が歪曲されてはいない。架空の重要な人物の一人は、実際にはこの計画に加わっていなかった女性科学者リーゼ・マイトナーの“身代わり”のジェーンである。有能な彼女は重要な役割を果たしている。また、科学者ではないパール・バックは、女性から見た科学者の家族および家族間のいろいろな確執や問題を巧みに取り上げている。とくに、ロスアラモスの半ば隔離された場所におけるいろいろな問題は、女性でなければ描かれなかったであろう。ジェーンとバートンの間をはじめ、いくつかのロマンスなども巧みに取り入れられ、読者を飽きさせないのもパール・バックの優れた才能だろう。

原子力関係の知識のある方には、この小説はある意味では退屈な読み物かも知れない。。しかし、そのほかの読者にとっては、科学用語、元素名、科学者の氏名や経歴などをかなり多く欄外に註として上げてあるので、内容の理解にはたいへん役に立つ。日本でこの小説の翻訳が長い間刊行されなかったのは、一般の読者にとって難しく、興味をもたれないと考えられたためではなかろうか。あまり役にも立たない評論やくだらない読み物が横行する日本で、一般の国民がもっと科学的な読み物に親しんでもらうためには、日本の科学者の努力が必要であり、これによって日本人の科学的学力の低下に歯止めがかかるのではなかろうか。この小説はアメリカ側から見た原子力開発の歴史とその内面の物語りであるが、日本人にとっても教えられることが多いのではないだろうか。

地球温暖化の問題が最近急に話題に上るようになり、原子力が温暖化防止の救世主の一つに挙げられているが、原子力を新しい地球を救う「神の火」とパール・バックは考えたのかも知れない。しかし、“Command the Morning” の本当の意味は筆者にはよくわからない。

（今　村　　昌）

「放射線教育」の投稿規定

NPO 法人放射線教育フォーラム発行の論文集「放射線教育」では、広く放射線教育に有益と考えられる内容の原稿の投稿を募集している。

1. 投稿資格

本誌への投稿資格は特定しない。「放射線教育」の内容及び体裁に合えば、誰でも投稿できるものとする。

2. 掲載する論文について

内容としては、放射線教育、エネルギー・環境教育の進展に寄与すると思われるもので、長さ、新規性により研究報告、ノート、解説、資料、意見、諸報に分かれる。詳細については別紙に定める。原則として未発表のものとするが編集委員会の判断によっては転載を認める。原稿の書き方は別に定める。

3. 原稿の審査

編集委員会は、論文の審査を複数の専門家に依頼する。その結果、内容・体裁に問題があると判断した場合にはその旨を著者に伝え、修正を求める。受理できないと判断した場合は、理由を明記して、報文を著者に返送する。

4. 論文の版権

掲載された論文の版権は放射線教育フォーラムに属するが、論文内容についての責任は著者にあるものとする

5. 原稿の送付

そのまま印刷される図表つきの原稿本文を下記あて送付する。またフロッピーの同封、もしくは編集委員宛の E-mail による本文の送付を歓迎する。最終的な原稿はプリントアウトをして下記に送る。毎年 1 月 31 日をその年度の締切とする。

（送付先）〒105-0003　東京都港区西新橋 3−23−6　第一白川ビル５Ｆ
放射線教育フォーラム編集委員会
（封筒に「放射線教育投稿原稿」と朱書する）

研究報告（10 ページ以下）

結果と考察を含み、十分な意義があるもの

a)放射線教育、エネルギー・環境教育の進展に寄与すると思われる、独創性のある研究論文。実験、調査、比較研究なども含む、

b)放射線教育、エネルギー・環境教育の進展に寄与すると思われる教育実践の報告

c)新規に開発した教材・実験方法・器具の報告

ノート（1一2 ページ）

a)放射線の理論や現象に関する新規の解釈

b)新規性の高い教材・実験方法・器具の報告

c)新規な実験データ及び考察

d)新規に考案した指導法、授業展開法、評価法など

e)放射線教育、エネルギー・環境教育に関する授業実践、イベント実践の報告

総説（10 ページ以下）

原則として編集委員会の依頼によるものとする。

各専門分野の研究について、その方面の進歩の状況、現状、将来への展望などを放射線教育若しくはエネルギー環境問題、放射線及び原子力問題に関連させてまとめたもの。

資料（10 ページ以下）

実験ならびに調査の結果または統計などをまとめたもので放射線教育、エネルギー・環境教育に利用できるもの（含む科学史研究）

意見（1一2 ページ）

放射線教育、エネルギー・環境教育、放射線に関する制度、教育制度などに関する種々の提案・意見など

諸報（1一2 ページ)

a)会議報告（放射線、エネルギー・環境教育に関連する会議に参加した報告で、教育的価値が高いもの）

b)訪問記（放射線、エネルギー・環境教育に関連する施設に訪問若しくはイベントに参加した報告で、教育的価値が高いもの）

c)ニュース（放射線、エネルギー・環境教育、理科教育に関連するニュースの紹介）

d)書評（放射線教育、エネルギー・環境教育、理科教育に資する書籍の紹介）

e)製品紹介（放射線教育、エネルギー・環境教育、理科教育に資する製品の紹介）

f)サイト紹介（放射線教育、エネルギー・環境教育に資するホームページの紹介）

「放射線教育」原稿の書き方

放射線教育フォーラム編集委員会
放射線教育フォーラム
〒105-0003　東京都港区西新橋 3−23−6　第一白川ビル５Ｆ

[要約]　「放射線教育」の投稿にあたって原稿の書き方を紹介する。

1. 使用言語

使用言語は日本語とする。

2.　使用ソフト及び保存ファイル

原稿はそのまま印刷できるように MS-Word（Microsoft）で作成する。他のソフトを利用した際は，doc ファイルで保存する。それができない場合は，文章を text ファイルで，図を JPEG 若しくは，GIF で保存する。

3.　用紙

3.1 用紙の設定

用紙は A4 を用い，１ページに 40 字 40 行，上下それぞれ 30mm，左右それぞれ 25mm 以上を空ける。意見，諸報は二段組にし，１段に 17 字入れる。

3.2 枚数制限

研究報告，総説，資料は原則として 10 ページ以内にまとめる。ノート，意見，諸報は 2 ページ以内とする。別刷り作成に便利なように諸報以外は偶数ページの原稿となることが望ましい。

4. フォント

日本語のフォントは明朝体，英語は Times を用い，研究報告，総説，資料の場合，大きさは表題のみ 16 ポイント太字，その他は 10.5 ポイントとし，見出しは太字，本文は標準とする。意見，諸報は表題のみ 12 ポイント太字，その他は 10.5 ポイントとする。

5.　図表

図表のタイトルは太字とする。図は，図 1，図 2 と，表は表 1，表 2 と番号を振る。図表は上下左右のいずれかの欄に沿う状態で体裁を整える。図のタイトルは図の下に置き，表のタイトルは表の上に置く。表は縦線がない方が望ましい。

表1 図表の書き方

	番号の振り方	タイトルの位置	Word に入らない時の保存形式
表	表 1, 表 2……	表の上	表を送付し, TEXT 若しくは DOC
図	図 1, 図 2……	図の下	JPEG 若しくは, GIF

6. 表題，要約及び見出し

研究報告、総説、資料の場合、１ページ目の第１行目に表題、２行目を空けて、３行目に氏名、４行目に所属、５行目に住所を書く。ここまでは各行の中央にそれぞれ記載する。６行目、７行目を空けて，８行目から[要約]（50–200 字程度）をつける。所属が複数になる場合、右肩にアルファベットを上付で付け、アルファベット毎に所属と住所をつける。

本文の大見出し、中見出し、小見出しは point system とし、1.、1.1、1.1.1 等のように書く。

意見、諸報の場合は、要約を書く必要がない。

7. 数値、単位、核種の表記

数値は、桁数が多くなる場合は、なるべく 10 の乗数を用いる。

例：370000 Bq →3.7×10^{5} Bq

単位は SI 単位を使用する。古い文献を引用するため、SI 単位以外の単位を用いなければならないときは、その単位を使用した後に、SI 単位に換算した値を示す。

例：検出された放射能は 1 nCi（=37 Bq）であった。

核種の質量数は ^{60}Co、^{131}I のように元素記号左肩に上付きで表記する。

8. 引用文献

引用文献は番号に片かっこを付して本文の右肩につける。

引用文献は下の形式で原稿の最後に一括すること。ただし、文献のタイトル記載については、著者の判断に任せる。雑誌のタイトルは省略形を用いても構わない。

〔雑　誌〕著者名，タイトル，雑誌名，巻数，ページ（西暦発行年）

日本語の論文の場合，著者は全員の名前を書くようにする。英語の論文の場合、名前はファミリーネームとイニシャルを用いる。ページは最初のページと最後のページをハイフンで結ぶ。

例）坂内忠明，霧箱の歴史，放射線教育，**4**，4-17（2000）

Ban-nai, T., Muramatsu, Y. and Yoshida, S. Concentration of ^{137}Cs and ^{40}K in edible mushroom collected in Japan and radiation dose due to their consumption. Health physics, **72**, 384-389 (1996)

〔単行本〕著者名，タイトル，編者名，「書名」，ページ，発行所，発行地（西暦発行年）

タイトルと編者名はある場合のみ。

例）松浦辰男，「放射性元素物語」，154p，研成社，東京（1992）

渡利一夫，放射性セシウム，青木芳朗,渡利一夫編，「人体内放射能の除去技術：挙動と除染のメカニズム」，7-10，講談社，東京（1996）

9.　その他の注意

1）用語はなるべく各学会制定の用語を用い、翻訳不能の学術語、日本語化しない固有名詞に限り原語（活字体）のまま用いる。数字はアラビア数字を用いること。

2）文献でない備考，注などは，*，**を右肩につけ，説明を脚注とし，その原稿用紙の下部に書くこと。

【編集後記】

放射線教育誌も本号で VOL.11 を迎えることになりました。創刊号より本誌の編集に携わった者として 10 年も経ったのだなあとの感を持つものであります。世に 10 年一昔と言いますが、この 10 年間の論文の内容を振り返りたいと思います。

本誌の論文はすべて中・高等学校における放射線教育に役立つものでありますが、これを次の 4 分野に分類してみるとその比率は、①放射線の基礎知識に関するもの 4 、②放射線の利用・応用に関するもの 1 、③放射線関連知識に関するもの 10、および④エネルギー関連知識に関するもの 2 となっています。

①の放射線の基礎知識に関するものには学校の先生の放射線教育の実践記録が多く見られます。放射線教育誌の編集担当者としてはこの分野の論文が多数集まることを希望します。

②の放射線の利用・応用に関する分野の論文はもっと多くなって欲しいと思います。放射線がいかに世の中に役立っているか知ってもらうためにも大切な分野であります。

③の放射線関連知識の分野の論文が多いのは当然として、この中には世間の放射線影響の無理解の現状および対策を述べているのも多い。早くこのような無理解を解消したいものであります。

④のエネルギー関連知識の分野については、エネルギー供給源である原子力発電に関するものが多い。この分野についての知識の普及にも努めたいものであります。

次に放射線教育誌の年間発行号数に触れたいと思います。本誌の創刊に当たり、創刊号は年間 1 号の刊行は止むを得ないが、数年のうちには年間 2～3 号の刊行を考えていたものであります。本フォーラムの会員数から考えて止むを得ないかもしれませんが、会員の積極的な論文投稿を望むものであります。

(村主　進)

放射線教育 Vol. 11, No. 1 (2007)

発行日：　2008 年 3 月

発行者：　NPO 法人放射線教育フォーラム（会長　有馬朗人）
URL ： http://www.ref.or.jp

編集者：　放射線教育フォーラム編集委員会
堀内公子（委員長）、大野新一（副委員長）、小高正敬（副委員長）、
今村　昌、岩崎民子、大橋國雄、菊池文誠、村主　進、坂内忠明、細渕安弘、
村石幸正

事務局：　〒105-0003　東京都港区西新橋 3−23−6　第一白川ビル5F
放射線教育フォーラム
Tel: 03-3433-0308　　FAX: 03-3433-4308,
E-mail ： mt01-ref@kt.rim.or.jp

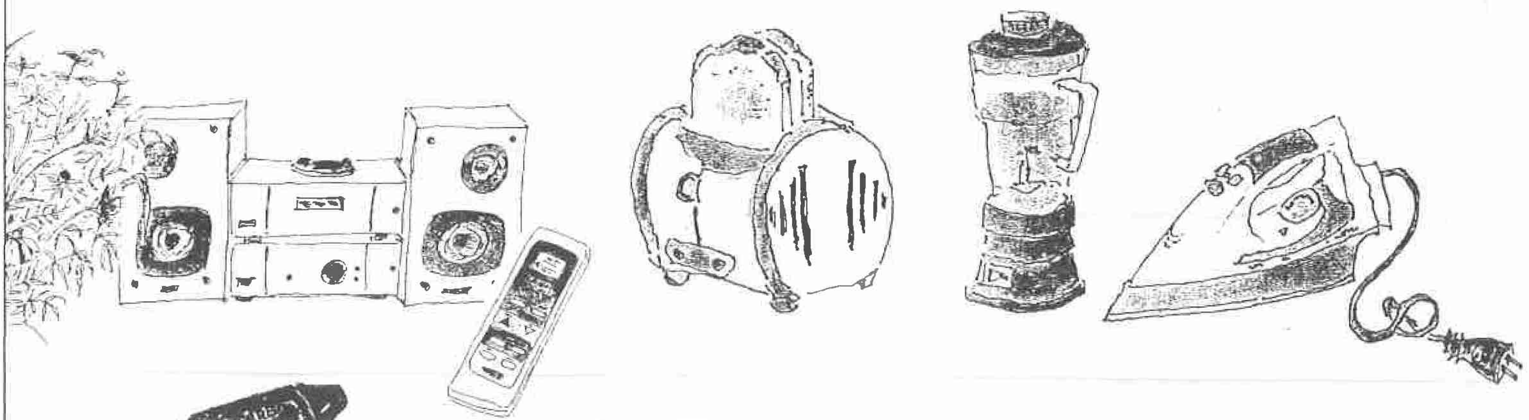
この夏、青森は…

津軽海峡、日本海、太平洋に三方を囲まれ、
寒流と暖流がぶつかる青森の海は海産物の宝庫。
いまならば、イカ、ウニ、ホタテ、サザエ、シジミなどが旬の味でしょうか。
そして、北国の涼しい夏が、野菜や果物の美味をすくすくと育てています。
原生林から生み出される豊かな清流が育てる、お米も自慢です。
人気の高い日本酒「田酒」の"田"も田んぼを意味してるのだとか…。
青森の最新の注目スポットといえば、下北半島にある「六ヶ所村」です。
日本の電気の約30%は原子力発電でつくられていますが、
その燃料となるウランも、約85年後には世界的に不足すると予測されています。
そこで、"再利用できる"というウラン燃料のメリットをいかした
電気のリサイクル「プルサーマル」の実施を、日本でも進めています。
この六ヶ所村の再処理工場は、発電に使われた燃料から、
まだ使えるウランやプルトニウムをとり出し、新しい燃料（MOX燃料）として
使えるようにするための、日本で初めての商業用の工場なのです。
青森は、おいしい魚介類や肉、野菜や果物、日本酒などを全国に出荷していますが、
毎日の暮らしに欠かせない
"電気"というエネルギーも支えているのですね。

エネルギーから
あなたへ

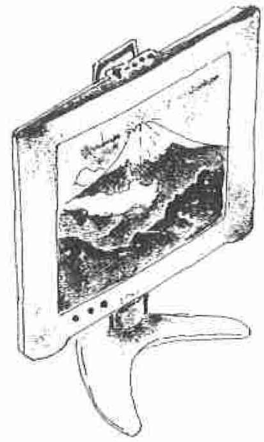
電気のリサイクル

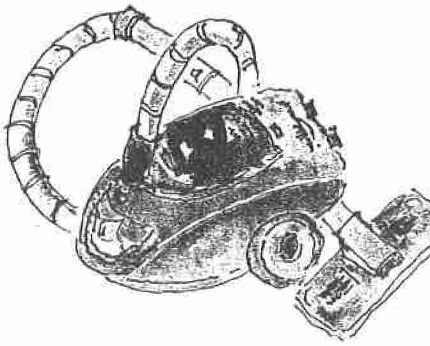
全国10の電力会社でつくる
電気事業連合会
ホームページにもぜひアクセスを…
http://www.fepc.or.jp/

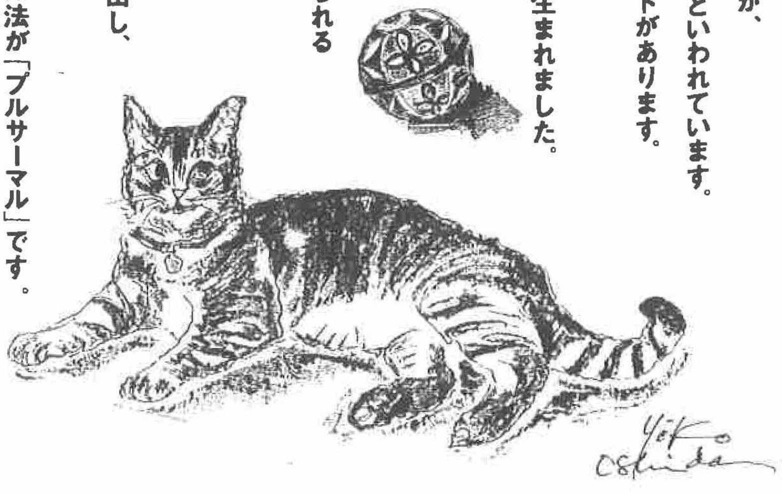


日本の電気の約30%は原子力発電によってつくられていますが、
その燃料である「ウラン」も約85年後には世界的に不足するといわれています。
しかし、そのウランには"再利用できる"という大きなメリットがあります。
限りあるエネルギー資源をムダなく効果的に利用しよう…
電気のリサイクル「プルサーマル」計画はこのような発想から生まれました。

原子力発電は、「ウラン」が核分裂した時に出る熱からつくられる
水蒸気でタービンを回して電気をつくりますが
一度電気をつくり終わったウラン燃料（使用済燃料）の
約95〜97%は、再利用することができるのです。
その中から発電によって新たに生まれたプルトニウムをとり出し、
ウランと合わせた新しい燃料（MOX燃料）として、
現在の発電所でふたたび発電に利用する…このリサイクル方法が「プルサーマル」です。
フランスをはじめヨーロッパではすでに実施されている方法ですが、
日本でも、プルサーマルによってつくられる
"再生電気"の活躍する日が訪れようとしています。







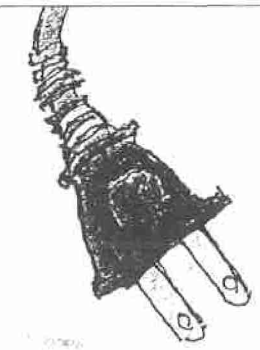
エネルギーから
あなたへ

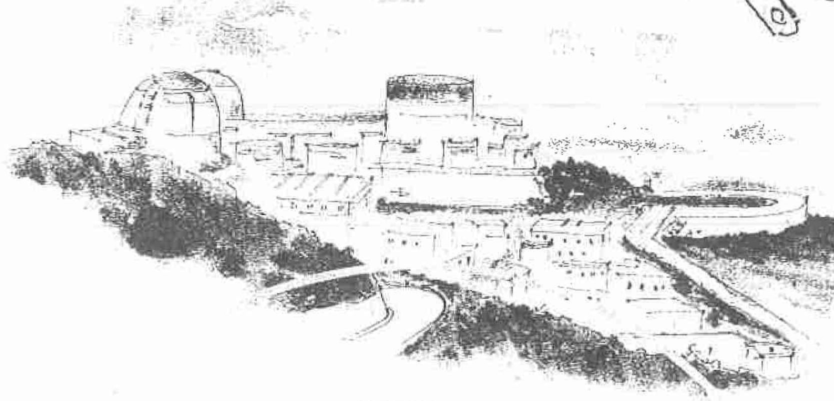
電気のリサイクル

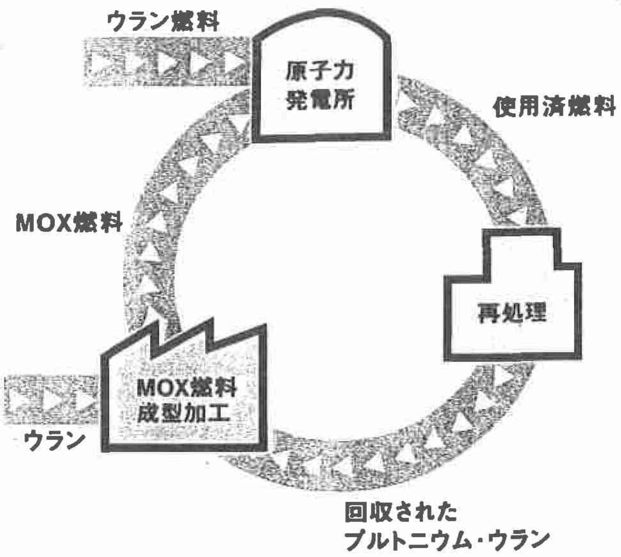
全国10の電力会社でつくる
電気事業連合会
ホームページにもぜひアクセスを…
http://www.fepc.or.jp/

「プルサーマル」は、いわば…"再生電気"をつくる方法です。

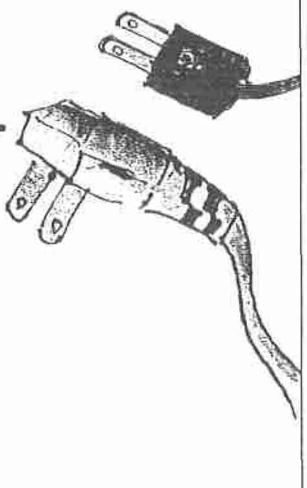
限りある資源を有効に使うため、さまざまな分野でリサイクルが進められていますね。
たとえば、使用済みの古紙から新たに再生紙が生まれるように、
"電気"の分野でも、燃料のリサイクルによる"再生電気"登場の時代を迎えています。

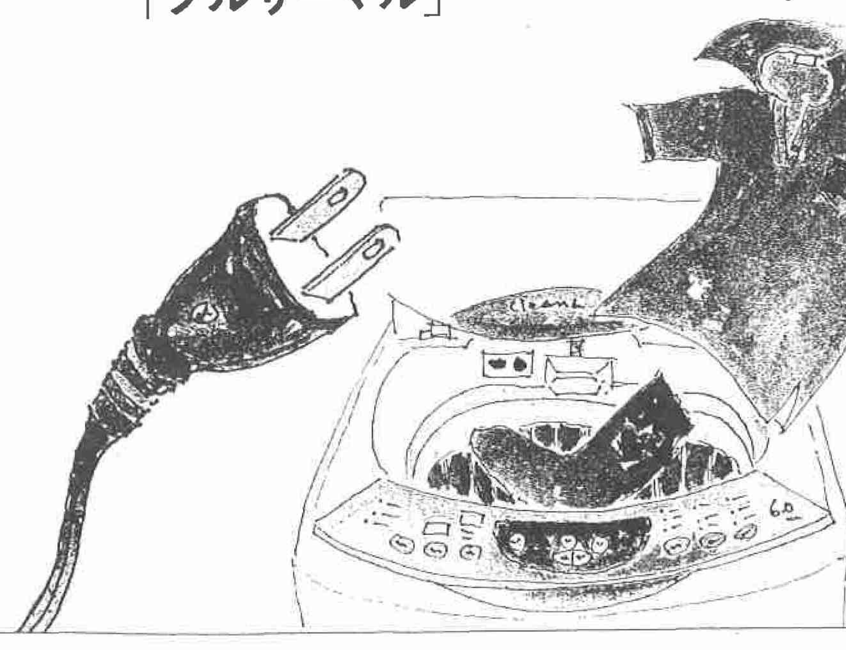






ウラン資源のリサイクル
「プルサーマル」





原子力・放射線をテーマに

資源・エネルギー教育、環境教育の題材を提供・・・
～見て、聞いて、触れて、考える、教員のための研修～

原子力体験セミナー

主催　文部科学省

企画・運営　（財）放射線利用振興協会

本セミナーは、文部科学省の委託事業として財団法人放射線利用振興協会が実施する、小学校、中学校、高等学校、特別支援学校等の教職員及びこれに準ずる教育関係者を対象とした研修です。

日本原子力研究開発機構の各拠点を主会場として全国の先生方を対象に開催するコースと、全国各地に出向いて1～2日間で開催するコースがあります。

内容は、講義、実験・実習、施設見学、ワークショップなどで構成され、基礎的知識や科学的知識を習得するコースから、資源・エネルギー問題、地球環境問題、防災教育といった「総合的な学習の時間」等へも役立てていただける内容のコース、原子炉を運転しての実習や授業の実践を検討するコースまで、担当教科や興味・関心に応じてご参加いただけます。また、セミナーでは学校で活用していただける教材も提供しています。

これまでに全国から約13,100名の先生方が受講されました。

ここでの体験や専門家とのふれあいから、21世紀を担う児童・生徒達にとって魅力ある教育を探っていただければ幸いです。

- 参加資格：小・中・高・特別支援学校等の教職員及びこれに準ずる教育関係者
- 参加費用：セミナーの参加に要する交通費、宿泊費は主催者の規定により支給します。
- セミナーの予定やカリキュラムの詳細については下記にお問い合わせください。

RADA

財団法人　放射線利用振興協会
国際原子力技術協力センター　国内研修部
〒319-1106　茨城県那珂郡東海村白方白根２－４
ホームページ：http://www.rada.or.jp/taiken/
E-mail：taiken@rada.or.jp

文部科学省委託事業

簡易放射線測定器「はかるくん」は無料で貸出ししています。

活用事例を募集しています。
多数のご応募お待ちしています。

「はかるくん」は誰でも簡単に自然放射線の量を測ることができる簡易放射線測定器です。

この「はかるくん」の活用事例を、実践・研究作品として、随時募集しています。

グループで模造紙に測定結果をまとめたもの、「はかるくん」を使った実習の新しい展開、自由研究や指導案など、「はかるくん」に関する様々な作品を応募いただきたいと思っております。

応募者全員に記念品をお送りしていますので、ぜひご応募ください。よろしくお願い申し上げます。

■□問い合わせ□■
財団法人 日本科学技術振興財団
情報システム開発部　「はかるくん」係
〒102-0091　東京都千代田区北の丸公園２－１
TEL：03-3212-8504　FAX：03-3212-8596
http://hakarukun.jsf.or.jp/

科学技術館では、会議室、サイエンスホールなどを、産業界の新技術の普及・交流の場としてお貸出ししています。

会議室使用料金表（1時間単位）　単位円／（税込料金）

会場名	定員	平日使用料	土・日・祝日使用料
第１会議室	90名	7,000 (7,350)	8,000 (8,400)
第２会議室	24名	6,000 (6,300)	7,000 (7,350)
第３会議室	90名	7,000 (7,350)	8,000 (8,400)
第４会議室	16名	5,000 (5,250)	6,000 (6,300)

※使用時間には準備、後片付けに要する時間も含まれます。
※備品使用料金は別紙をご参照下さい。

サイエンスホール使用料金表　単位:円／（税込料金）

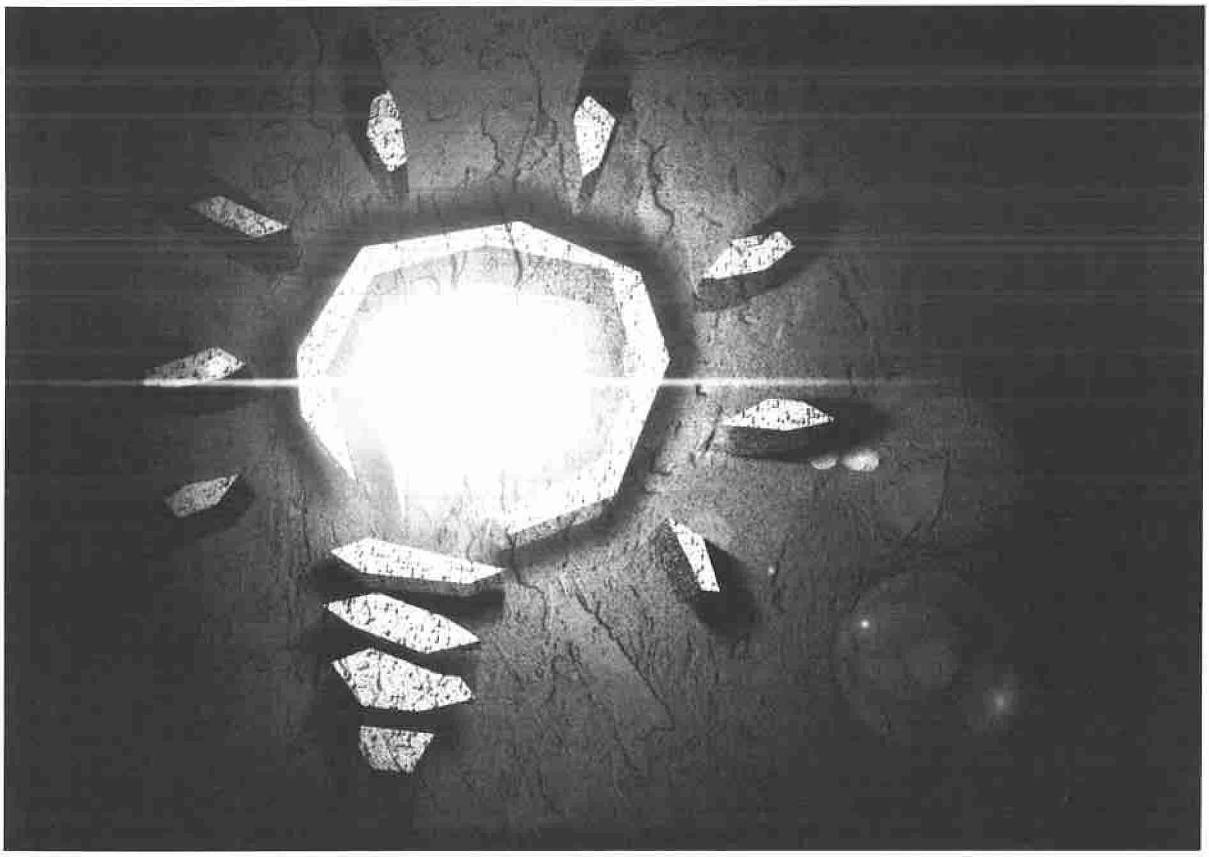
区分	使用時間	平日使用料	土・日・祝日使用料
A	9:00～16:30	150,000 (157,500)	160,000 (168,000)
B	13:00～21:00	182,000 (191,100)	187,000 (196,350)
C	17:30～21:00	102,000 (107,100)	107,000 (112,350)
D	9:00～21:00	205,000 (215,250)	215,000 (225,750)

※使用時間には準備、後片付けに要する時間も含まれます。
※使用時間の超過は、次の使用に支障のない場合に限ります。(¥15,000/30分)
※A区分で午前使用、午後使用のみの場合は¥30,000の割引がございます。
※備品使用料金は別紙をご参照下さい。

事務棟５階・６階の会議室（４室）は小規模なセミナー・発表会・控え室などにご利用いただけます。
お問い合わせ先：03-3212-3939
http://www2.jsf.or.jp/ja/guide.html

セミナー、シンポジウム、講演会、試写会、イベントなどにご利用いただけます。410名収容の客席、ステージ、映写・音響設備と控え室（２室）を備えています。
お問い合わせ先：03-3212-8485

資源・エネルギー・原子力・環境について知りたいこと、疑問に思うことはありませんか？



日本原子力文化振興財団では、
中・高校生や先生方に対して
様々な協力活動を行なっています。

❶10月26日の「原子力の日」を記念して、
作文・論文の募集と表彰

❷**放射線実習セミナーの開催**

❸先生方を対象とした
「エネルギーと環境」講座の開催

❹エネルギーや原子力などの
ビデオや写真の貸し出し

●放射線実習セミナーの経費は無料です
●お問い合わせは電話、FAX、URLなどからお願いいたします

財団法人 日本原子力文化振興財団

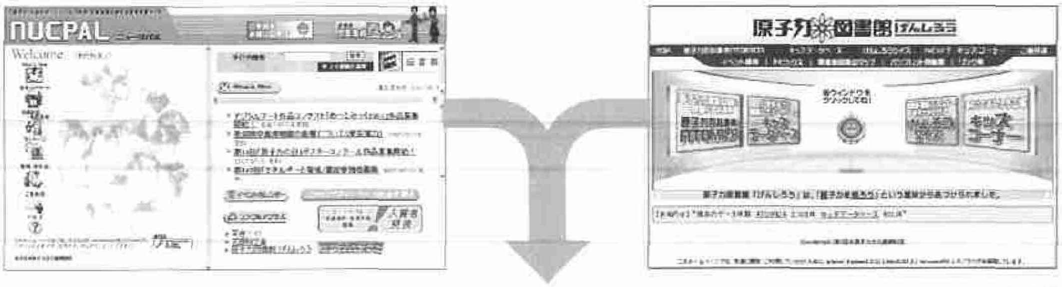
〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町2-8-4 TEL 03-5651-1571 FAX 03-3639-6636 URL http://www.jaero.or.jp/

あとみん（原子力・エネルギー教育支援情報提供サイト）

http://www.atomin.gr.jp

原子力やエネルギー・環境の授業に! 原子力を詳しく知りたいときに!

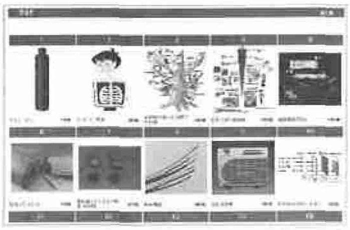
「ニュークパル」と「げんしろう」を統合した新サイト



平成19年12月 リニューアル オープン!

映像コンテンツ

「あとみん」トップページ（イメージ）



イラスト・写真

1 対象

小・中・高等学校の教員、教育関係者及び児童生徒、一般

2 内容

原子力、放射線、エネルギーと環境に関する内容を小・中・高等学校、一般向けの対象別メニューで掲載しています。

3 主なコンテンツ

実践事例・指導計画

各授業に役立つ実践事例・指導計画を紹介しています。

テーマ別、教科別、学校種別で検索可能です。

イラスト・写真・図表

イラスト、写真、効果音等をダウンロードできます。

映像コンテンツ

原子力や放射線、温暖化をテーマに授業の導入等で使える３分程度の映像です。

ワークシート

小・中・高等学校の校種別にテーマ毎に４段階のレベルのワークシートがあります。

解説書

原子力、エネルギー、放射線、環境をテーマに図解で詳しく解説しています。

キッズデータベース

小学生向けに、イラスト入りでわかりやすく解説したデータベースです。

みんなのエコ・エネ教室

中学生向けのアニメーションを見ながら原子力や放射線、温暖化などのテーマを、学習できるコンテンツです。各テーマは時間割ごとに選べます。

原子力百科事典 ATOMICA

一般や専門家向けに日本と世界の原子力や放射線に関する最新情報を、豊富な図表とともに解説したデータベースです。

他に、講師派遣、教員セミナー、副読本・ガイドブックの情報等を掲載しています。

お問い合わせ　㈶日本原子力文化振興財団　科学文化部教育支援センター　TEL 03-5651-1572　FAX 03-3639-6636
atomin@jaero.or.jp　http://www.atomin.gr.jp

私たちは・・・

学校や地域のエネルギー環境教育をサポートしています

児童生徒用副教材／教師用指導資料

児童・生徒向け見学会

エネルギー･コミュニケーター派遣授業の様子

◆ご参加ご活用お待ちしております◆

〈エネルギー環境教育情報センター〉

❖児童生徒用副教材／教師用指導資料提供
❖先生方のためのセミナー・見学会開催
❖エネルギー・コミュニケーター派遣
❖エネルギー教育「地域拠点大学／実践校」支援
❖広報活動広報施設表彰・連絡会議

エネルギー環境教育情報センター

The Information Center for Energy and Environment Education

略称：ICEE

◆ご入会、お待ちしております◆

〈エネルギー環境教育情報フォーラム：センター内に設置〉

❖当フォーラムにご入会いただいた方には、エネルギー環境教育ジャーナル（会報誌）や副教材・教師用指導資料、シンポジウムや見学会などのご案内を無償でお送りしています。

→ご入会はホームページ　http://www.icee.gr.jp/
　またはパンフレットをご請求下さい。

先生方のための施設見学会

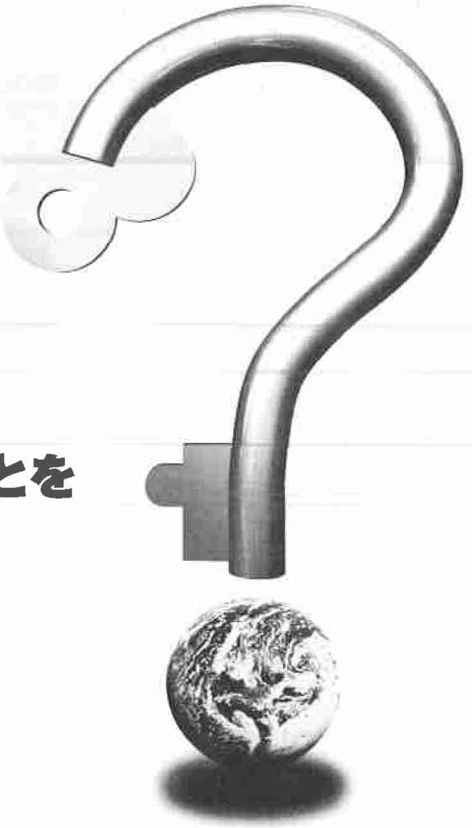
〈日本エネルギー環境教育学会〉

→ご入会はホームページ　http://www.jaee.jp/

全国各地でのエネルギー・環境教育研究フォーラム

（財）社会経済生産性本部 エネルギー環境教育情報センター
〒105-0003　東京都港区西新橋1-6-15 愛光ビル5F
TEL 03-3593-0936　FAX 03-3593-0930
ホームページ http://www.icee.gr.jp

この星に、たしかな未来を。
Dramatic Technologies
三菱重工



未来が未来でなくなる前に、私たちにできることを考えたい。

私たちの生活にとって
欠くことのできない電気。
今、その電気を生み出す
貴重なエネルギー資源が、
確実になくなりつつあります。
原子力発電所の使用済み燃料を
リサイクル利用するプルサーマル。
それは、豊かな未来をひらく
テクノロジーです。
未来を閉ざさないために――
三菱重工は、プルサーマルの実現を
サポートしています。

三菱PWR原子力発電プラント

豊かな未来をひらく、プルサーマル

三菱重工業株式会社
本社　原子力事業本部　〒108-8215 東京都港区港南2-16-5 TEL.(03)6716-3111
支社　関西/中部/九州/北海道/中国/東北/北陸/四国

原子力の今を学ぶために

原子力ポケットブック
本体価格6000円＋消費税300円

1964年に初版が刊行されて以来、その後のアイソトープ利用の拡大や原子力発電の導入などによって、年々その対象分野を広げ、「知りたい情報を簡便に」得られるデータ・バンクとして高い評価を受けております。
エネルギー・原子力行政に携わる人はもとより、原子力従事者、地方自治体やマスコミ関係者の座右の一冊です。

電力・エネルギー時事用語事典
本体価格2,667円＋消費税133円

「電気新聞」が日々新たな情報を提供する中で蓄積された情報を生かし、電力・エネルギーの世界で起こる事象を的確に理解いただくために必要な用語をわかりやすく解説したものです。その時々に時代を読み解くための情報として必要なキーワードを集め、理解に役立つ最新のニュース情報とともに解説しています。

電氣新聞
ENERGY & ELECTRICITY　The Denki Shimbun

原子力の今を知るために

電気新聞は電力，電機，情報通信分野における日刊専門紙です。原子力関係も最新のニュースを提供しています

購読のお申し込みは 新聞部 フリーダイヤル 0120－39－1551
またはウェブサイトから！

購読料
1ヶ月 3,990円
（本体価格3,800円＋消費税190円）

ほか多数の原子力関係書籍を販売しております！
詳しくは下記ウェブサイトをご覧ください

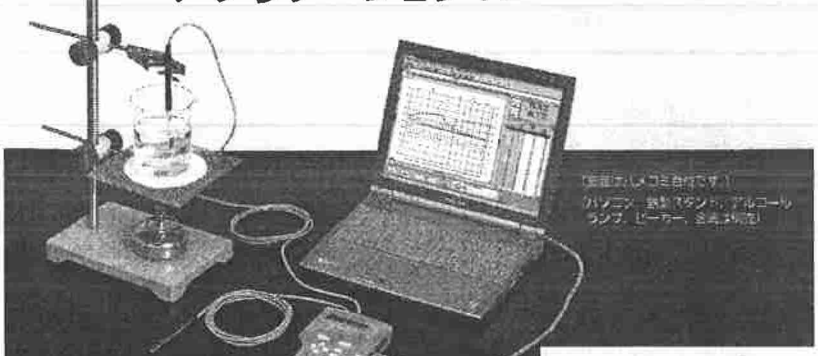
社団法人 日本電気協会
JAPAN ELECTRIC ASSOCIATION

www.shimbun.denki.or.jp

UCHIDA

ウチダ パソコン計測システム
Science Mate® SL-4（データロガー付き）

」3つの使い方（単体計測・PC接続計測・データロガー解析）
」屋外での環境測定に最適（データロガー解析）
」グループ実験もできる、充実したアプリケーション!!



ラボセンサーセット

8-100-2001 SL-4 ラボセンサーセット
・・・・・・・・¥48,000（税込¥50,400）

●セット内容：本体（サイエンスキャプチャ）、ソフトウェアCD、USBケーブル、ACアダプター、ストラップ、気温センサー（1個）＋液温センサー（1個）＋光センサー（1個）

◆計測端末（サイエンスキャプチャ）と理科実験用センサーのセットです。
気温・液温・光のON/OFFが計測でき、温度変化や振り子の周期などが測定できます。
◆オプションセンサーを組合わせて、電流・電圧の計測や気象の計測もできます。

内田洋行
教育システム事業部

ウチダホームページアドレス
▶http://school.uchida.co.jp/

■東　京 〒135-8730 東京都江東区潮見2-9-15
東日本機器営業部 ☎03(5634)6280　ICT東日本第1営業部 ☎03(5634)6402
施設設備営業部 ☎03(5634)6318　ICT東日本第2営業部 ☎03(5634)6406
■大　阪 〒540-8520 大阪市中央区和泉町2-2-2
西日本機器営業部 ☎06(6920)2480　ICT西日本営業部 ☎06(6920)2641
施設設備営業部 ☎06(6920)2491
■名古屋 〒460-0002 名古屋市中区丸の内1-17-19 キリックス丸の内ビル2階
中部営業部 ☎052(222)7255
■北海道支社 〒060-0041 札幌市中央区大通り東3-1 ☎011(214)8611
■九州支社 〒812-8692 福岡市博多区博多駅南1-14-14 ☎092(482)5850

各省庁研究費公募及び配分、内容等も紹介

我が国唯一の基礎科学専門紙

研究助成団体の募集及び結果

文部科学省等の情報
教授人事、国際会議派遣、大学ニュース、研究成果など

海外科学ニュース
海外雑誌を航空便で取り寄せ翻訳速報

その他の主な内容
人物紹介、海外出張者、国内科学ニュースダイジェスト、
学協会行事、科学雑誌・学協会誌目次総覧、外国雑誌、
新刊案内、書評、新製品紹介、研究所紹介、科学読物、
教授・准教授等募集、科学者が語る自伝

週刊（金曜日発行）
科学新聞

1カ月　2,100円
6カ月　11,340円（前納）
1カ年　21,000円（前納）
（送料・消費税込）

科研費の第一人者・飯田益雄先生の書き下ろしによる待望の新刊。
科研費の史的変遷を語る上で欠かせない一冊！

科研費ヒストリー
科学政策にみる科研費の制度と運営の実際

飯田益雄 著（元 文部省主任学術調査官）／四六判並製本230ページ／定価（本体2,200円＋税）

株式会社 科学新聞社
東京都港区浜松町1-8-1（〒105-0013）
TEL 03-3434-3741㈹　FAX 03-3434-3745
http://www.sci-news.co.jp